

ISSN (Print) 2616-7263
ISSN (Online) 2663-1261

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

ХАБАРШЫСЫ

BULLETIN

of L.N. Gumilyov Eurasian
National University

ВЕСТНИК

Евразийского национального
университета имени Л.Н. Гумилева

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы

TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY Series

Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

4(145)/2023

1995 жылдан бастап шығады

Founded in 1995

Издается с 1995 года

Жылына 4 рет шығады

Published 4 times a year

Выходит 4 раза в год

Астана, 2023

Astana, 2023

Астана, 2023

Бас редакторы Тогизбаева Б.Б.
т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Бас редактордың орынбасары Жусупбеков А.Ж.
т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Жауапты редактор Закирова А.Б.
п.ғ.к. (комп. ғылымдар), доцент, Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан

Редакция алқасы

Левенте Ковач	проф., Обуда университеті, Будапешт, Венгрия
Андраш Молнар	проф., Обуда университеті, Будапешт, Венгрия
Акира Хасегава	проф., Хачинохе технологиялық институты, Хачинохе, Жапония
Акитоши Мочизуки	проф., Токусима Университеті, Токусима, Жапония
Базарбаев Д.О.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Дер Вэн Чанг	проф., Тамкан Университеті, Тайбэй, Тайвань
Жумагулов М.Г.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Йошинори Ивасаки	проф., Геологиялық зерттеулер институты, Осака, Жапония
Калякин В.Н.	проф., Делавер Университеті, Ньюарк, АҚШ
Сахапов Р.Л.	проф., Қазан мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті, Қазан, Ресей
Тадатсугу Танака	проф., Токио Университеті, Токио, Жапония
Тулбекова А.С.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Хое Линг	проф., Колумбия Университеті, Нью-Йорк, АҚШ
Утепов Е.Б.	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Чекаева Р.У.	а.к., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Шахмов Ж.А	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Астана, Қазақстан
Юн Чул Шин	проф., Инчeon ұлттық университеті, Инчeon, Оңтүстік Корея

Редакцияның мекен жайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Сәтбаев к-сі, 2,
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-315). E-mail: vest_techsci@enu.kz

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

Хабаршысы

ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР

сериясы

Меншіктенуші: КеАҚ «Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті»

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген

19.04.2021ж. № KZ31VPY00034682 қайта есепке қою туралы куәлігі

Типографияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Астана қ., Қажымұқан к-сі 13/1

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-315). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

Editor-in-Chief **Baglan Togizbayeva**
Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
Deputy Editor-in-Chief **Askar Zhussupbekov**
Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan
Executive editor **Alma Zakirova**
Assoc. Prof. (comp. sci.), L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Editorial board

Levente Kovács	Prof., Óbuda University, Budapest, Hungary
András Molnár	Prof., Óbuda University, Budapest, Hungary
Akira Hasegwa	Prof., Hachinohe Institute of Technology, Hachinohe, Japan
Akitoshi Mochizuki	Prof., University of Tokushima, Tokushima, Japan
Daniyar Bazarbayeva	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Der Wen Chang	Prof., Tamkang University, Taipei, Taiwan (ROC)
Mihail Zhumagulov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Yoshinori Iwasaki	Prof., Geo Research Institute, Osaka, Japan
Viktor Kalakin	Prof., University of Delaware, Newark, Delaware, USA
Rustem Sakhapov	Prof., Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia
Tadatsugu Tanaka	Prof., University of Tokyo, Tokyo, Japan
Assel Tulebekova	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Hoe Ling	Prof., Columbia University, New York, USA
Yelbek Uteпов	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Rahima Chekaeva	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Zhanbolat Shakhmov	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan
Eun Chul Shin	Prof., Incheon National University, Incheon, South Korea

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 402,
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,
010008
Tel.: +7 (7172) 709-500 (ext. 31-315), E-mail: vest_techsci@enu.kz

Bulletin of L.N. Gumilyov Eurasian National University **TECHNICAL SCIENCES and TECHNOLOGY** **Series**

Owner: Non-profit joint-stock company «L.N. Gumilyov Eurasian National University»
Periodicity: 4 times a year
Registered by the Ministry of Information and Communication of the Republic of Kazakhstan
Rediscount certificate № KZ31VPY00034682 from 19.04.2021
Address of Printing Office: 13/1 Kazhimukan str., Astana, Kazakhstan 010008
L.N. Gumilyov Eurasian National University
Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-315). Website: <http://bultech.enu.kz>

Главный редактор **Тогизбаева Б.Б.**
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Зам. главного редактора **Жусупбеков А.Ж.**
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Ответственный редактор **Закирова А.Б.**
к.п.н. (комп. науки), доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Редакционная коллегия

Левенте Ковач	проф., университет Обуда, Будапешт, Венгрия
Андраш Молнар	проф., университет Обуда, Будапешт, Венгрия
Акира Хасегава	проф., Технологический институт Хачинохе, Хачинохе, Япония
Акитоши Мочизуки	проф., Университет Токусима, Токусима, Япония
Базарбаев Д.О.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Дер Вэн Чанг	проф., Тамканский Университет, Тайбэй, Тайвань
Жумагулов М.Г.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Йошинори Ивасаки	проф., Институт геологических исследований, Осака, Япония
Калякин В.Н.	проф., Делаверский Университет, Ньюарк, США
Сахапов Р.Л.	проф., Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия
Тадатсугу Танака	проф., Токийский Университет, Токио, Япония
Тулбекова А.С.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Хое Линг	проф., Колумбийский университет, Нью-Йорк, США
Утепов Е.Б.	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Чекаева Р.У.	к.а., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Шахмов Ж.А.	PhD, доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
Юн Чуд Шин	проф., Инчхонский национальный университет, Инчхон, Южная Корея

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Сатпаева, 2,
Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402
Тел: +7(7172) 709-500 (вн. 31-315). E-mail: vest_techsci@enu.kz

Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева
Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

Собственник: НАО «Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева»

Периодичность: 4 раза в год

Зарегистрирован Министерством информации и коммуникаций Республики Казахстан

Свидетельство о постановке на переучет № KZ31VPY00034682 от 19.04.2021 г.

Адрес типографии: 010008, Казахстан, г. Астана, ул. Кажымукана, 13/1,

Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-315). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

Л.Н. ГУМИЛЕВ АТЫНДАҒЫ ЕУРАЗИЯ ҰЛТТЫҚ УНИВЕРСИТЕТІНІҢ ХАБАРШЫСЫ
ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР СЕРИЯСЫ

ВЕСТНИК ЕВРАЗИЙСКОГО НАЦИОНАЛЬНОГО УНИВЕРСИТЕТА
ИМЕНИ Л.Н.ГУМИЛЕВА. СЕРИЯ ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ

BULLETIN OF L.N. GUMILYOV EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY
TECHNICAL SCIENCE AND TECHNOLOGY SERIES

№ 4(145)/2023

МАЗМҰНЫ/ CONTENTS/ СОДЕРЖАНИЕ

- Н.Н.Ташатов, М.Е.Ашимова.** Метеорологиялық жүйелердің мониторингі мен модельдеуін зияткерлік етуде Big Data және Data Analytics қолдану
N. Tashatov, M. Ashimova. Using Big Data and Data Analytics to intelligently monitor and model meteorological systems
Н.Н.Ташатов, М.Е.Ашимова. Использование Big Data и Data Analytics в интеллектуализации мониторинга и моделирования метеорологических систем 9
- Б.Б. Тогизбаева, А.С. Кинжебаева.** Ерекше жүктерді тасымалдауға арналған құбырлы таспалы конвейерлерді зерттеу мәселесі
B. Togizbayeva, A. Kinzhebayeva. Methodology of substantiation and calculation of rational and constructive parameters of a tubular belt conveyor
Б.Б. Тогизбаева, А.С. Кинжебаева. Методика обоснования и расчета рациональных и конструктивных параметров трубчатого ленточного конвейера 23
- Р.Т. Сахыбаев, Б.А. Қойайдаров.** Технологиялық машиналардың жұмысшы жылдамдықтарын реттеу
R. Sakhybaev, B. Koiaidarov. Regulation of working speeds of technological machines
Р.Т. Сахыбаев, Б.А. Қойайдаров. Регулирование рабочих скоростей технологических машин 31
- А.Ж. Жусупбеков, А.Р.Омаров, Дж.С. Дания, А.Б. Исакулов, С.Б. Исаков.** Ығыстыру технологиясы бойынша жасалған бұрғыланып толтырылатын қадалардың лабораториялық және далалық сынақтарын зерттеу
A. Zhussupbekov, A. Omarov, J. Dhanya, A. Issakulov, S. Isakov. Investigation of laboratory and field tests of piles installed by displacement technology
А.Ж. Жусупбеков, А.Р.Омаров, Дж.С. Дания, А.Б. Исакулов, С.Б. Исаков. Исследование лабораторных и полевых испытаний свай, установленных методом вытеснения 37
- А. Абдираман, Л. Алдашева, Б. Дарменов, Т. Омурзаков, А. Закирова.** «Туды түсіру» жарысы арқылы Киберқауіпсіздік бойынша оқыту үшін киберполигон платформасының қолданылуын салыстырмалы талдау
A. Abdiraman, L. Aldasheva, B. Darменов, T. Omurzakov, A. Zakirova. Comparative analysis of application platform for learning cybersecurity through the Capturing the Flag Competitions
А. Абдираман, Л. Алдашева, Б. Дарменов, Т. Омурзаков, А. Закирова. Сравнительный анализ применения платформы киберполигона для обучения в области кибербезопасности с помощью соревнований «Захват флага» 49
- В. Полуғари, Н. Н. Сингх, К.С. Рао, Н.М.А. Кришнан.** Сканерлеуші электронды микроскопиядағы (СЭМ) топырақ бөлшектеріне зарядтың әсері
V. Polugari, N. Singh, K. Rao, N. Krishnan. Charging n Soil Particles in Scanning Electron Microscopy (SEM)

- В. Полуғари, Н. Н. Синх, К.С. Рао, Н.М.А. Қришнан.** Влияние заряда на частицы почвы при сканирующей электронной микроскопии (СЭМ) 58
- Б.М. Искаков, З.В. Капишакбаева, С.М. Тохтарова.** Тәжірибелі қондырғылардың көмегімен жабайы шырғанақ өнімдерін қайта өңдеу
B. Iskakov, Z. Kapshakbaeva, S. Tokhtarova. Processing of wild sea buckthorn products with the help of pilot plants
- Б.М. Искаков, З.В. Капишакбаева, С.М. Тохтарова.** Переработки дикой облепиховой продукции с помощью опытных установок 67
- У. Алтигенов, А. Түлебекова, С. Ахажанов, Д. Қажимқанұлы, У. Куралов.** Темірбетон конструкцияларын фибробласттармен арматуралаудың тиімділігі
U. Altigenov, A. Tulebekova, S. Akhazhanov, D. Kazhimkanuly, U. Kuralov. effectiveness of
- У. Алтигенов, А. Түлебекова, С. Ахажанов, Д. Қажимқанұлы, У. Куралов.** Эффективность усиления железобетонных конструкций фиброармированными пластиками 75
- Н.Ж.Жумадилова, А.Т.Мұхамеджанова, В.С.Портнов, Т.Т Мусабаев, Е.П. Шин.** Есіл өзені арнасының учаскесін геофизикалық зерттеу және бөгет беткейлерінің тұрақтылығын бағалау
N. Zhumadilova, A. Mukhamedzhanova, V. Portnov, T. Musabaev, E. Shin. Geophysical studies of a section of the Yesil River bed and assessment of the stability of the dam slopes
- Н.Ж.Жумадилова, А.Т.Мұхамеджанова, В.С.Портнов, Т.Т Мусабаев, Е.П. Шин.** Есіл өзені арнасының учаскесін геофизикалық зерттеу және бөгет беткейлерінің тұрақтылығын бағалау 83
- А.М. Абдыров, Р.К. Ниязбекова, Н.С. Серекбаев, Ж.Т. Ибраева, Л.С. Шаншарова, Н.М. Оспанова, С.С. Алдабергена.** Күл-қож қалдықтарының цемент қамыры мен пастаны орнату уақытына әсері
A. Abdyrrov, R. Niyazbekova, N. Serekbayev, Zh Ibraeva, L.S. Shansharova², N. Ospanova, S. Aldabergenova.
- А.М. Абдыров, Р.К. Ниязбекова, Н.С. Серекбаев, Ж.Т. Ибраева, Л.С. Шаншарова, Н.М. Оспанова, С.С. Алдабергена.** Воздействие золошлаковых отходов на сроки схватывания цементного теста и паст 98
- Г.Қ. Қәрімова, Р.К. Ниязбекова, Ж.К. Даниярова.** Сапа көрсеткіштерін анықтайтын стандарттау құралдары
G. Karimova, R. Niyazbekova, Zh. Daniyarova. Standardization tools for determining quality indicators
- Г.К. Каримова, Р.К. Ниязбекова, Ж.К. Даниярова.** Инструменты стандартизации определяющие показатели качества 111
- А.Н. Конкыбаева, К.Т. Шеров, Е.Б. Иманбаев, С.О. Тусупова, А.Е. Окимбаева, Н.Ж. Карсакова.** Қалалық жолаушылар көлігінің жұмыс тиімділігіне жөндеу-қалпына келтіру жұмыстары сапасының әсерін зерттеу
A. Konkubayeva, K. Sherov, Y. Imanbaev, S. Tussupova, A. Okimbaeva, N. Karsakova. Research of
- А.Н. Конкыбаева, К.Т. Шеров, Е.Б. Иманбаев, С.О. Тусупова, А.Е. Окимбаева, Н.Ж. Карсакова.** Исследование влияния качества ремонтно-восстановительных работ на эффективность работы городского пассажирского транспорта 124
- А.Е. Джексембаева, И. Закарин, М.Д. Конканов, Л.Б. Аруова.** Шлак жол асфальтыбетон
A. Dzheksembayeva, I. Zakarin, M. Konkhanov, L. Aruova. Road slag asphalt concrete
- А.Е. Джексембаева, И. Закарин, М.Д. Конканов, Л.Б. Аруова.** Шлаковый дорожный асфальтобетон 135

- Т.Т.Мусабаев, Н.Ж. Жумадилова, А.Т. Мухамеджанова, С.К. Мусина.** Ақсу ферроқорытпа зауытындағы электр пештерінің су басқан іргетасының шөгуді болжау әдістемесі
T. Mussabayev, N. Zhumadilova, A. Mukhamedzhanova, S. Mussina. Methodology for predicting aterlogged foundations of electric furnace foundations at Aksu Ferroalloy Plant 143
- Т.Т. Мусабаев, Н.Ж. Жумадилова, А.Т. Мухамеджанова, С.К. Мусина.** Методика прогнозирования осадок подтопляемых фундаментов электропечей Аксуского завода ферросплавов
- А.С.Сарсембаева, А.Ж.Жусупбеков, Дер Вен Чанг, С.Т.Мусаханова, А.Р.Омаров.** Қосшы қ. ауданында Frost 3D бағдарламасында автомобиль жолының маусымдық қататын топырақтарын есептеу және модельдеу
A. Sarsembayeva, A. Zhussupbekov, D. Chang, S. Mussakhanova, A. Omarov. Calculation and modeling of seasonally freezing soils of the highway located near Kosshy town with Frost 3D program 154
- А.С.Сарсембаева, А.Ж.Жусупбеков, Дер Вен Чанг, С.Т.Мусаханова, А.Р.Омаров.** Расчет и моделирование сезоннопромерзающих грунтов автомобильной дороги в районе г. Косши с в программе Frost 3D
- А.Ж. Жусупбеков, Д.В. Чанг, А. Р. Омаров, А. Б. Исакулов, Д. М. Муканов, А.У. Есентаев.** DDS және CFA технологиялары бойынша жасалған бұрғыланып толтырылған модельдік микро қадалардың жүк көтергіштігін салыстыру
A. Zhussupbekov, D.W. Chang, A. Omarov, A. Issakulov, D. Mukhanov, A. Yessentayev. Comparison of bearing capacities of model drilled micro piles using DDS and CFA technologies 165
- А.Ж. Жусупбеков, Д.В. Чанг, А. Р. Омаров, А. Б. Исакулов, Д. М. Муканов, А.У. Есентаев.** Сравнение несущей способности модельных микросвай с использованием технологий DDS и CFA
- Л.Б. Аруова, А.Е. Джексембаева, М.Д. Конканов, Л.А. Жаксылыкова.** Құрылысқа арналған жаңа, энергия үнемдейтін материалдар
L. Ariyova, A. Dzheksembayeva, M. Konkhanov, L. Zhaksylykova. New materials for construction 175
- Л.Б. Аруова, А.Е. Джексембаева, М.Д. Конканов, Л.А. Жаксылыкова.** Новые энергоэффективные материалы для строительства
- А.С. Даньярова, Б.Б. Тогизбаева, К.Г. Балабеков, А.Б. Кенесбек.** Гидравликалық экскаватордың жұмыс жабдығының элементтеріне әсер етуші қазу күштері мен жүктемелерді анықтау әдісін таңдау.
A. Danuyarova, B. Togizbayeva, K. Balabekov, A. Kenesbek. Selecting an approach to calculate the excavation forces and the loads exerted on the components of the hydraulic excavator's working equipment. 188
- А.С. Даньярова, Б.Б. Тогизбаева, К.Г. Балабеков, А.Б. Кенесбек.** Выбор метода расчета усилий копания и нагрузок, действующих на элементы рабочего оборудования гидравлического экскаватора.
- М.А. Сайлығараева, Н.Н. Нысанбай, Ж.Д. Байгурын.** Ғимараттар мен құрылыстардың деформацияларын және техникалық жағдайын аспаптық бақылау әдістемесі
M. Sailygarayeva, N. Nysanbai, Zh. Baigurin. Methodology of instrumental observations of deformations and technical condition of buildings and structures 204
- М.А. Сайлығараева, Н.Н. Нысанбай, Ж.Д. Байгурын.** Методика инструментальных наблюдений за деформациями и техническим состоянием зданий и сооружений
- Б. Куспанғалиев, К. Самойлов, О. Приемец.** Түркістандағы Қожа Ахмет Яссауи ханақа-кесенесі композициясының даму ерекшелігі
B. Kuspangaliev, K. Satoilov, O. Priemets. The composition of the Khoja Ahmed Yassawi's mausoleum-khanaka in Turkestan evolution peculiarity 214
- Б. Куспанғалиев, К. Самойлов, О. Приемец.** Своеобразие развития композиции мавзолея-ханака Ходжи Ахмеда Яссауи в Туркестане

- А.А.Тойшыева.** *Философиялық-эстетикалық аспект тұрғысынан ғимараттардың заманауи архитектурасының тұрақтылығы (Астана қ. мысалында)*
A. Toishiyeva. *Environmental friendliness of modern architecture of buildings from the standpoint of philosophical and aesthetic aspect (on the example of Astana)*
А.А. Тойшыева. *Экологичность современной архитектуры зданий с позиции философско-эстетического аспекта (на примере г. Астаны)* 226
- М.К. Сағынтай, А.К. Мустафа, Е.З. Нұрман.** *3D баспаланған бетонды арматуралауға арналған аутоматты арматуралаушы механизм*
M. Sagyntay, A. Mustafa, E. Nugman. *An automatic reinforcement mechanism for reinforcing the 3D printed concrete*
М.К. Сағынтай, А.К. Мустафа, Е.З. Нұрман. *Автоматический армирующий механизм для армирования 3D печатного бетона* 236
- Н.М. Мырзабеков, А.А. Каражанов.** *Көлік мекемесінің жылдық бағдарламасын негіздеу*
N. Myrzabekov, A. Karazhanov. *Annual Program of the Transport Company*
Н.М Мырзабеков, А.А. Каражанов. *Обоснование годовой программы транспортного предприятия* 250
- К.Т. Шеров, Н.Ж. Карсакова, Б.С. Доненбаев, С.О. Тусупова, К. Имашева, А.Б. Есиркепова.** *Сатылы тесікті кеңейтежону кезінде кесу режимдерінің беттің кедір бұдырлығына әсерін эксперименттік зерттеу*
K. Sherov, N. Karsakova, B. Dopenbaev, S. Tussupova, K. Imasheva, A. Yesirkepova. *Experimental*
К.Т. Шеров, Н.Ж. Карсакова, Б.С. Доненбаев, С.О. Тусупова, К. Имашева, А.Б. Есиркепова. *Экспериментальное исследование влияния режимов резания на шероховатость поверхности при растачивании ступенчатого отверстия* 265
- Т.Т. Мусабаев, Н.Ж. Жумадилова, В.С. Портнов, С.К. Мусина.** *Астана қаласының оң жағалауындағы құрылыс нысандары аумақтарының инженерлік-геологиялық жағдайлары*
T. Mussabayev, N. Zhumadilova, V. Portnov, S. Mussina. *Engineering-geological conditions of the territories of construction sites on the right bank of the city of Astana*
Т.Т. Мусабаев, Н.Ж. Жумадилова, В.С. Портнов, С.К. Мусина. *Инженерно-геологические условия территорий объектов строительства правобережья города Астаны* 275
- А. Ш. Алимгазин, А. Н. Бергузинов, Г.Т. Мерзадинова, Н.А. Баимбетов, Г. Ж. Тасболат.** *Жылу сорғы технологиясын енгізу арқылы магистральдық мұнай құбырлары арқылы тұтқырлығы жоғары мұнайды тасымалдау тиімділігін арттыру*
A. Alimgazin, A. Berguzinov, G. Merzadinova, N. Baymbetov, G. Tasbolat. *Improving the of transportation of high-viscosity oil through trunk pipelines by introducing heat pump technology*
А. Ш. Алимгазин, А. Н. Бергузинов, Г.Т. Мерзадинова, Н.А. Баимбетов, Г. Ж. Тасболат. *Повышение эффективности транспортировки высоковязкой нефти по магистральным нефтепроводам путем внедрения теплонасосной технологии* 292
- А.Б. Дошибекова, И.М. Джуриная, С.Ш. Таипулатов.** *Мыстың тұндыру процесіне технологиялық параметрлердің әсерін зерттеу*
A. Doshibekova, I. Jurinskaya, S. Tashpulatov. *Investigation of the of technological parameters on the copper deposition process*
А.Б. Дошибекова, И.М. Джуриная, С.Ш. Таипулатов. *Исследование влияния технологических параметров на процесс осаждения меди* 302



Н.Н.Ташатов¹, М.Е.Ашимова²

^{1,2}Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан
E-mail: ²moldir_kksu@mail.ru

Использование Big Data и Data Analytics в интеллектуализации мониторинга и моделирования метеорологических систем

Аннотация. Основной целью данной работы является системный анализ современного состояния мониторинга (целей, возможностей, технологий) метеорологических данных, в частности, больших данных, аналитики (майнинга) и оперативно-аналитических витрин данных, их информационных срезов (профилей), онтологического представления интеллектуальной поддержки принятия метеорологических решений. Также рассмотрены задачи моделирования с использованием временных рядов в условиях их зашумленности (рассматривается лишь «белый», гауссов шум), консолидации данных и реализации моделей управления данными и процессом метеорологического мониторинга. Исследование использует методы анализа, декомпозиции, ситуационного моделирования, параметрической идентификации, математической статистики, классификации и риск-менеджмента. Основные результаты работы: 1) аналитика мониторинга как системной инфраструктуры «экосистемы» с учетом востребованности информационных объектов (трехуровневой для простоты); 2) модели вычислений, обеспечивающей хранение, анализ и адаптивность данных по предметным потребностям, «на лету»; 3) структурная онтологическая схема представления принятия решения на основе мониторинга, а также соответствующей ей формально-математическая модель. Полученные результаты в практическом мониторинге позволят решать как сложные задачи (на базе Big Data), так и задавать (оценивать) допустимые в мониторинге риски, строить алгоритмы идентификации и программы (планы) безопасного, управляемого мониторинга в условиях плохо определенных, нечетких ситуаций.

Ключевые слова: мониторинг; интеллектуальный; большие данные; аналитика; метеорология

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-9-22

1. Введение

Мониторинг климата, метеорологических ситуаций не только становится более динамичным, но и сложным, в системном понимании.

Термин «Big Data» (2008г., Nature) – интегральный, системный термин, объединяющий инновационные технологий представления и обработки, анализа сильно больших

массивов данных разной структуры, геолокации, хранения, которые ранее обработать было невозможно [1]. С привлечением смартфонов, компьютеров, приложений, в реальном режиме и с соблюдением требований «5V» (Volume, Variety, Velocity, Value, Veracity):

- 1) Volume – большие массивы, требующие совершенных технологий обработки;
- 2) Variety – параллельная обработка данных различных по форматам и способам управления (источникам, базам);
- 3) Velocity – рост скорости актуализации данных в реальном режиме;
- 4) Value – необходимо извлечь из данных все ценности, полезные свойства в них;
- 5) Veracity – соответствие данных и выводимых из них связей.

В метеорологии требуется мобилизация знаний [2], оптимизация метеоданных (рис.1).

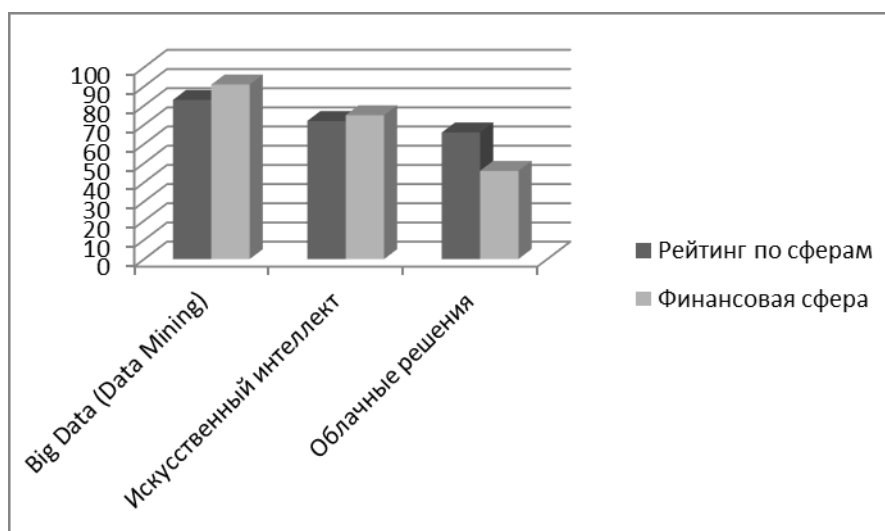


Рис.1. Сравнительный рейтинг Big Data по странам СНГ

Big Data в метеорологических системах позволяют исследователям сосредоточить внимание на данных, технологиях их обработки и анализа, в частности, Data Analytics, Data Mining. Например, Weather Company (частная компания от IBM) предлагает свыше 26 млн. ежедневных погодных сетевых прогнозов и инструментарий обоснования решений по погоде с личных метеостанций. Другой пример – Центр управления возобновляемой энергией (СЕКОЕР), предоставляющий решения в реальном удаленном режиме с помощью миллионов единиц климатических данных, в виде 3 тыс. графиков за год.

Обработка метеоданных потребует сравнительного анализа – с реальными или многолетними (сезонными) показателями погоды. Для этого используют часто несложные расчеты, например, температуры, силы ветра, осадков, их отклонений. Временным рядам данных свойственна зашумленность («белый, гауссов» шум). Он мешает консолидации данных – поиску корреляций, проверке статистических гипотез, исключению избыточности и др.

Временные ряды, отфильтрованные от «шумов» дают ценную информацию [3]. Но этого недостаточно, приходится применять API-сервисы [4] типа Метеосервис.ру, OpenWeatherMap, WorldWeatherOnline и более глубокий анализ с помощью фреймворка ApacheHadoop и на основе Big Data, Data Mining или нейронной сети [5] и глубокого машинного обучения. Например, сервис «Яндекс. Погода» научил нейросеть прогнозировать осадки на основе обучения с использованием Big Data Росгидромета на десятиминутный горизонт и строить карты осадков. Google применяет распределенную обработку на основе Big Data и компьютерных кластеров MapReduce.

В последнее время мониторинг метеорологических ситуаций использует не только Big Data, но и формализации описаний, представлений данных на основе онтологий и предиктивную аналитику [6]. Это не просто дань современным технологиям, а требование современного риск-менеджмента, упреждающей защиты от аварий, катастроф [7]. Так, в РФ эффективно используют Big Data метеорологических данных корпорации Сбербанк, Газпром-нефть, Северсталь, Аэрофлот, Русагро и др.

Обращение к Big Data в метеорологии стало обыденностью. Поэтому в работе мы проводим актуальный системный анализ и исследуем некоторые модели, подходы к принятию решений в метеорологии, в частности, мониторинга.

2. Методы

В нашем исследовании были использованы методы, способствующие моделированию метеорологических данных, а именно: методы анализа, декомпозиции, ситуационного моделирования, параметрической идентификации, математической статистики, классификации и риск-менеджмента.

3. Результаты и обсуждение

Реализуя цифровые трансформации в метеорологии приходится работать с Big Data, библиотеками [8]. Без релевантного аналитического обеспечения принятия решений, моделирования (например, ситуационного, визуального) невозможно обойтись. Эксперты используют разнообразный инструментарий на всех этапах цикла актуальности бизнес-данных.

Актуализируемые при этом данные хранятся, как правило, в транзакционных OLTP-системах (On-Line Transaction Processing Systems) [9], а также в файлах и внешних системах. Они могут быть и слабо структурированы, недостоверны, противоречивы, без предобработки.

Big Data в метеорологии дает преимущества:

- 1) упрощение мониторинга и его оперативный запуск;
- 2) рост пользователей данных, привлечение целевых клиентов;
- 3) ускорение взаимодействий с потребителями, поставщиками данных;
- 4) повышение темпа взаимодействий и др.

Big Data позволяет создавать и широко использовать профили потребителей, снижать издержки по обработке данных, адаптировать мониторинг к сложным условиям (например, COVID-19), сложному оборудованию.

Модели больших, корпоративных хранилищ метеорологических данных – многомерные, сложные при распределенной обработке в узлах кластеров данных, в понимании (восприятии) контекста данных, а также в динамической настройке под задачу, особенно, параметрически. Необходимы витрины данных, вычисления в памяти (In-Memory Computing, IMC), «на лету», использование ассоциативных моделей данных, предикативной аналитики. Их используем, адаптируем в данной работе.

Big Data и оперативные витрины данных в метеорологии

Подход с использованием оперативных витрин актуализируемых метеоданных является частью концепции оперативно-аналитических витрин [10], направленной на доступность больших метеорологических данных и многих их источников посредством снижения объема и сложности данных. Например, сведением их к выборкам, позволяющим получать близкий к целевому, результат в режиме, близком к реальному.

Если рассматривать некоторый информационный объект, отражающий метеорологическое явление (метеопроцесс), то для целей информационно-логического (инфологического) моделирования можно опираться на профили (срезы) объекта, которые

представимы взаимосвязанными таблицами (тематическими, ориентированными на некоторую проблему, группу пользователей). Такие таблицы должны обладать свойством минимальной достаточности.

Пусть $I = \{i_1, i_2, \dots, i_n\}$, $N = |I|$ – элемент объекта, к которому требуется оперативный доступ для определенной группы метеорологических задач, потребителей. Информационный каталог ресурсов $K = \langle I_1, I_2, \dots, I_N \rangle$, $\forall i_j \in I_i$, где I_i – i -ый информационный ресурс, в котором каждый j -ый элемент i_j принадлежит одному из классов – нормативно-справочной информации S или предметно-ориентированных данных D .

Востребованность (запросы) элементов ресурсов в течение периода $T = \langle t_1, t_2, \dots, t_k \rangle$ разных групп пользователей – различна. Частоту обращений (запросов) к элементам K обозначим $f_K(i_j)$, она вычисляема (максимально) как:

$$f_{max} = \max_T(\langle f_{t_1}(i_j), \dots, f_{t_k}(i_j) \rangle), t_i \in T, l = 1, 2, \dots, k,$$

где f_{max} – максимум значений функций частот востребованности (запросов) к информационным ресурсам, f_{t_l} – частоты запросов к ресурсу i_j в период t_l .

Ранжирование по востребованности можно производить по формализованному индексу:

$$w_k = \frac{f_k}{f_{max}}.$$

По этому индексу можно фильтровать данные K , загружаемые в оперативное хранилище метеоданных.

Если определить шкалу востребованности элементов информационного каталога $W_K = \{w_{k_i}\}$, то можно построить множества (классы) востребованности элементов информационных ресурсов. Например, «трехклассовую» – высокочастотной (В), среднечастотной (С) и низкочастотной (Н) востребованности. Элементы В-класса включаются в оперативное хранилище всегда. Элементы С-класса могут быть включены лишь при достаточно свободных ресурсах оперативного хранилища. Элементы Н-класса не включаются в оперативное хранилище метеоданных.

Модели бизнес-аналитики используют различный аппарат, но наиболее часто – алгебраический, теоретико-множественный [11]. Модель вычислений позволяет хранить обрабатываемые данные в самой оперативной памяти [12], что даёт ключевые преимущества:

- 1) упрощение анализа данных (из-за сокращения уровней структурирования данных);
- 2) адаптивность модели (из-за подключения новых источников данных согласно текущим потребностям бизнеса, «на лету»);
- 3) повышение точности (из-за уменьшения фрагментации данных);
- 4) хранение активных структур данных и запросов в памяти, фильтрация (из-за отсутствия необходимости охранять промежуточные результаты на диске).

Для построения витрин метеорологических данных для заданного множества метеорологических процессов B_1, B_2, \dots, B_n , вначале идентифицируется классы (иерархии) атрибутов сущностей, соответствующие потребностям системных аналитиков. Уровни детализации данных определяются предметным аналитиком, метеорологом, агротехником или сейсмологом [13-14].

Для бизнес-процессов $B_i, i = 1, 2, \dots, n$ строятся аналитические витрины:

- 1) оперативных метеоданных (из источников, оперативного хранилища), соответствующих метеопроцессов;
- 2) агрегированных данных, соответствующих обобщенным значениям атрибутов информационных объектов;
- 3) метаданных, соответствующих индексным связям содержимых оперативных метеорологических данных для связи данных между витринами.

Ядро системы оперативно, «на лету» строит ассоциативную модель, перестраивая ее адаптивно, интерактивно запросам пользователей без перезагрузки исходных данных. Если необходимо, с помощью частичной дозагрузки (инкрементирования) и подключения библиотеки класса Open Source (математика, статистика, нейро, визуализация и др.).

Автоматизация и управление мониторинговой системой

Автоматизация, а больше, интеллектуализация мониторинга, применение Big Data позволяют решать новые проблемы мониторинга, строить поддерживающие интеллектуальные системы.

Ключевые подсистемы такой системы определяем следующим образом:

- 1) БД (база данных) инфологических запросов, включающая единичные и повторяющиеся запросы пользователей, формирующая профили, планы, связи, задачи мониторинга и объектов, ситуаций (своеобразное «семантическое ядро» запросов);
- 2) БЗ (база знаний с экспертной системой) сценариев (планов) мониторинга;
- 3) библиотека (модули, процедуры, операторы), позволяющая реализовать план и программу мониторинга с отслеживанием автономности (модульности), параметризуемости, полноты (отсутствия дублирования) функций-задач, сценариев, адаптивной управляемости, устойчивости (надежности и корректности данных при наличии «шумов»), развиваемости и расширяемости решаемых задач;
- 4) интерфейсная подсистема (диалоговая реализация сценариев мониторинга, их визуализации, редактирования);
- 5) диспетчер – подсистема, динамически формирующая, согласно запросу и сценарию мониторинга цепочку и управляющая ее реализацией, как в последовательном, так и в параллельном режиме;
- 6) оценивания и интерпретации – для оценки успешности и интерпретируемости результатов мониторинга.

Мониторинговый процесс опирается (как в [15]), на базовые алгоритмические структуры и «примитивы» (аналоги макросов, функций пользователя).

Неопределенности, источники рисков являются атрибутами климатического мониторинга. Для оценки рисков привлекаются различные методы – экспертный, эвристический, статистический, нейросетевой и др.

Регулярный мониторинг – дорогостоящая процедура. На практике применяют мониторинг эпизодический, плановый. Потоки метеоданных и мониторинг позволяют охватить и все риски. Например, ключевые территориальные (региональные) риски:

- 1) обеспеченности ресурсами;
- 2) негативного воздействия («шумов»);
- 3) потери управляемости (планового развития, самоорганизации);
- 4) ИКТ-поддержки мониторинга и др.

Для каждого из рисков требуется апробированная процедура оценивания риск-напряженности (рис.2).

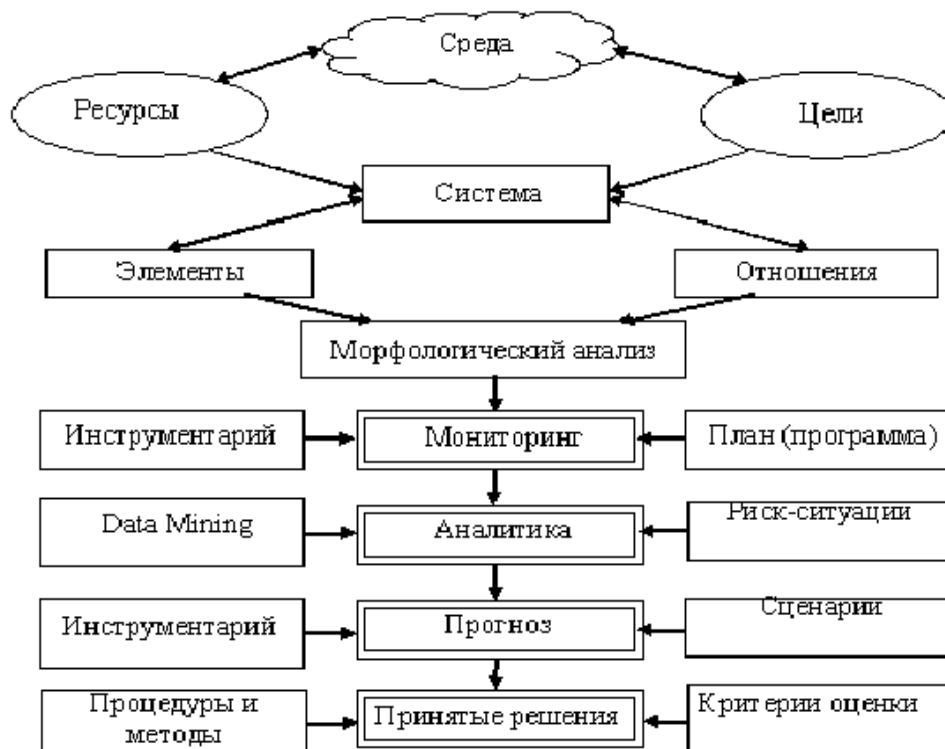


Рис. 2. Схема принятия решения на основе мониторинга

Некоторые параметры (показатели) ориентированы на экономику или технологии, не являются эффективными при интегральной метеорологической оценке системы, ее рисков. Необходим анализ взаимодействий для единой системы, методики идентификации параметров эволюции системы. К таким параметрам относятся, например, время, темп, мощность, скорость, емкость, затраты-доходы, полезность, эффективность, адаптивность и др.

Для оценки устойчивости метеорологического мониторинга можно ввести новые оценочные факторы, например, коэффициент качественного обслуживания:

$$K = S / \sum_{i=1}^n \alpha_i S_i,$$

где S – ресурсный, например, объемный или информационный показатель развития инфраструктуры, S_i – аналогичный показатель по инфраструктурному элементу (например, региональному), n – количество элементов (подсистем) системы, α_i – весовой коэффициент, отражающий, в частности региональную обеспеченность (важность) фактора i .

В цифровом обществе, основанном на интеллектуальности и знаниях, для актуализации знаний применяется формальный когнитивный инструментарий – теория онтологии [16], фреймовая модель знаний [17].

Важно полностью, релевантно формализовать и идентифицировать область изменений метеорологических параметров, особенно, области рисков. Здесь полезно применение онтологий, онтологического представления системных процессов, среды, особенно, риск-ситуаций.

На рис. 3 показан пример онтологического представления ситуационного мониторинга.



Рис.3. Пример онтологического представления ситуационного мониторинга

Автоматизация мониторинга, а лучше, – его интеллектуализация (в смысле системной поддержки искусственного интеллекта) потребует использования новых, высоких ИКТ и неклассических инфологических систем. Должны быть учтены параметры метеорологических данных, информационных потоков (типы источников, достоверность, значимость, фильтрацию структурированность и др.).

Онтологии помогают в этом – создают системное представление предметно-ориентированных знаний, помогают описывать системные модели, процессы и структуры, семантические связи для последующего отображения их на предметную область, например, сейсмологию [18] или иную предметную область с учетом пространственных изменений [19].

Есть еще и интегрирующая способность онтология-ориентированного подхода, интеллектуального мониторинга и интерактивного анализа метеорологических данных, заключающаяся в усилении междисциплинарных взаимосвязей (особенно, обратных) исследователей. На основе исследования таких связей реализуемы унифицированные интеллектуальные платформы для реализации технологии гибкого, интерактивного анализа данных метеорологического мониторинга. Они позволяют, «вопреки» классическим алгоритмическим принципам и свойствам алгоритмов, на процедурном уровне анализировать системно-информационные связи. Например, как в программировании «на лету», потоковом, экстремальном. Это открывает пути реализации новых классов мониторинга сложных задач современной метеорологии.

В классическую схему отношений при решении задачи поддержки распределенного мониторинга вида: «конечный пользователь – метеорологическая система – эксперт (метеоролог, аналитик данных)» современные технологии и требования вносят изменения.

Рассмотрим схему типа «конечный пользователь – экспертная (решающая) система».

Выделим два типа знаний – знания о метеорологическом объекте O и знания системные S :

$$O = \langle Q, R, P, F \rangle, \quad S = \langle A, K, M, D \rangle,$$

где:

1) $Q = \{Q_1, Q_2, \dots, Q_n\}$ – совокупность специализаций рассматриваемого метеорологического объекта O ;

2) $R = \{R_{11}, R_{12}, \dots, R_{nn}\}$ – совокупность бинарных отношений с другими метеорологическими объектами;

- 3) $P = \{P_1, P_2, \dots, P_n\}$ – совокупность разнородных свойств O ;
- 4) $Q_i = \{P_{1i}, P_{2i}, \dots, P_{ni}\} \in P$;
- 5) F – совокупность правил вывода (интерпретации) с которыми связаны методы (алгоритмы) идентификации и оценки признаков O ;
- 6) $A = \{A_1, A_2, \dots, A_m\}$ – знания об алгоритмах обработки данных;
- 7) $K = \{K_1, K_2, \dots, K_k\}$ – знания о средствах, средах взаимодействия (особенно, при выборе конкретного алгоритма) с конечным пользователем;
- 8) $M = \{M_1, M_2, \dots, M_l\}$ – знания о методах (алгоритмах) преобразования данных согласно актуальной логике цепочки обработки метеорологических данных;
- 9) $D = \{D_1, D_2, \dots, D_d\}$ – знания о преобразуемых данных (моделях данных), в частности спутниковых, подвергаемых соответствующему преобразованию (вейвлет, Фурье и др.).

Используются набор адекватных инструментов, например, онтологии, графовые структуры объектов, веб-интерфейс, экспорт данных в базы (MySQL) и другие средства ситуационного моделирования по запросам пользователей и заданным сценариям метеорологического мониторинга.

Пример онтологического представления ситуационного мониторинга представлен в статье, далее дадим краткое описание одному из вышеперечисленных наборов адекватных инструментов. Так, например, известно, что для комплексного использования больших наборов метеорологических данных необходимо создать распределенную программную инфраструктуру, основанную на инфраструктуре пространственных данных (ИПД) [20]. Геопортал инфраструктуры пространственных данных представляет собой, по мнению ученых, единую точку входа, предполагающую функциональности поиска географических информационных ресурсов, выборки данных, согласно заданным параметрам (функциональность доступа к данным), а также обработки и картографической визуализации в виде соответствующих сервисов и клиентских приложений [21].

На данный момент считается, что разработка клиентских приложений как элементов такой инфраструктуры должна выполняться с использованием современных веб- и ГИС-технологий [22]. В соответствии с требованиями директивы, INSPIRE к визуализации пространственных данных, приложение должно обеспечивать базовую функциональность стандартной ГИС, выражающуюся в просмотре данных, прокрутке, масштабировании и наложении графических слоёв, а также в отображении соответствующих метаданных.

Исходя из этого отметим, что на сегодня существует несколько информационных систем и сервисов, предоставляющих подобную функциональность. Система GeoBrain Online Analysis System (GeOnAS) предоставляет доступ к данным спутниковых наблюдений (NASA, USGS) через сервисы Open Geospatial Consortium (OGC, <http://www.opengeospatial.org>), построенные на базе ПО с открытым кодом GRASS GIS, и оснащена веб-интерфейсом, основанным на библиотеке DHTMLX (<http://dhtmlx.com>).

Сервис ncWMS [23] – это реализация сервиса OGC Web Map Service (WMS) для геопространственных наборов данных, представленных в формате netCDF. Он активно используется для визуализации данных в рамках геопорталов ИПД, но, к сожалению, слабо поддерживается стандартными ГИС. Портал Unidata THREDDS (<http://www.unidata.ucar.edu/software/thredds/current/tds/TDS.html>) предоставляет доступ к геопространственным данным и метаданным по OPeNDAP, OGC WMS и OGC Web Coverage Service (WCS). Этот продукт также поддерживает выборку данных с использованием ncWMS для визуализации результатов. Открытая распределённая архитектура Boundless / OpenGeo широко используется для разработки сложных геоинформационных приложений [24]. Она состоит из трёх уровней (данные, сервер приложений и графический интерфейс) и опирается на следующее открытое ПО: ПО Geoserver и Geowebcache (<http://geoserver.org>), реализующее сервисы OGC WMS, WFS, Web Processing Service (WPS); JavaScript-библиотеку OpenLayers (<http://openlayers.org>), которая обеспечивает базовую функциональность «тонкого» веб-

ГИС клиента; JavaScript-библиотеку GeoExt / ExtJS library [25] для разработки клиентских веб-приложений с интуитивно понятным графическим интерфейсом пользователя. Рассмотренные подходы нами были применены в разработке схемы хранения больших метеорологических данных, создании база метаданных, а также графического веб-ГИС клиент-пользователя.

4. Выводы

Системный подход к мониторинговым исследованиям в метеорологии необходим не только для решения практических проблем, но и для создания методик, принципов эффективного и интеллектуального мониторинга, подающихся оцениванию (аудиту) заранее, априори, для планирования.

Идентификация метеорологических событий (особенно, рисков) должна основываться на достоверных данных, аналитических процедурах. Здесь без Big Data (Data Analytics) и разработки математической и аналитической поддержки эффективно решать метеорологические задачи в реальном режиме не обойтись. Понадобится Data Mining и распределенная обработка («облака», «туманы»). Возможность исследования «глубинных», не лежащих на поверхности метеорологических данных, сетей усиливают Data Mining, Social Mining, BI и др. Наиболее интересные процессы и отклики среды в исследованиях можно анализировать, зная лишь место, время и импульс отклика, управляя активностью в среде, эволюционным потенциалом системы. Для этого потребуются инфологическое и программно-технологическое обеспечение, соответствующие междисциплинарные модели, ситуационное моделирование, эффективный доступ к распределенным и разнородным данным от различных классов источников.

Необходимы инфраструктура и сервис, позволяющие не только актуализировать, но и обобщать, систематизировать данные, формируя онтологическую модель процессов, ситуаций и их отношений. Интегрированная интеллектуальная система мониторинга позволит актуализировать не только текущие метео данные (например, спутниковые), но и Big Data.

Наш подход и предложенные модели используются для ситуационного (планового, программируемого) мониторинга с минимизацией рисков и выбором приемлемой риск-траектории, позволяющей оптимизировать, перераспределять ресурсы. Возможности Big Data позволяют производить глубокий статистико-аналитический мониторинг, поддерживаемый данными и алгоритмами.

Big Data инфраструктура – фактор преодоления «разрывов» в проводимых мониторинговых исследованиях в эпоху Big Data. Таков эволюционный процесс.

Список литературы:

1. Peng G., Downs R., Lacagnina C., Ramapriyan H., Ivanova I., et.al. Call to Action for Global Access to and Harmonization of Quality Information of Individual Earth Science Datasets // Data Science Journal, 2021, vol.20(1), p.19-29. DOI: <http://doi.org/10.5334/dsj-2021-019>
2. Baker K., Duerr R., Parsons M. Scientific Knowledge Mobilization: Co-evolution of Data Products and Designated Communities // International Journal of Digital Curation, 2016, Vol.10(2), pp.110–135. DOI: <https://doi.org/10.2218/ijdc.v10i2.346>
3. Колесников И.Н. Прогнозирование временных рядов посредством привязки событий // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019. –№7(4). –С.12–21. DOI:10.26102/2310-6018/2019.27.4.039
4. Переpletчиков В.И., Носков В.Ю. Разработка информационной системы сбора и анализа данных метеорологических сервисов на основе технологий Big Data // Теплотехника и информатика в образовании, науке и производстве : сборник докладов ТИМ'2018 (VII Всероссийской научно-практической конференции студентов, аспирантов и молодых учёных с международным участием),

17–18 мая 2018 г. –Екатеринбург: ООО АМК «День РА», 2018. –С.487-493. <https://elar.urfu.ru/handle/10995/61614?mode=full>

5. Костромин Н.С., Сивова А.Н. Перспективы применения нейросетей для решения проблем ННН-рыболовства и пиратства в Арктической зоне России // Российская Арктика. –2020. –№11.- С.24-30 <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-neyrosetey-dlya-resheniya-problem-nnnrybolovstva-i-piratsva-v-arkticheskoy-zone-rossii/viewer>

6. Колесников И.Н., Финогеев А.Г. Проактивный мониторинг событий на основе предиктивного анализа временных рядов // Модели, системы, сети в экономике, технике, природе и обществе, 2020, вып.1, с.111-125. DOI 10.21685/2227-8486-2020-1-9

7. Bakhmut A.D., Krylov A.V., Krylova M.A., Okhtilev M.Yu., Okhtilev P.A., Sokolov B.V. Proactive Management of Complex Objects Using Precedent Methodology // Artificial Intelligence and Algorithms in Intelligent Systems (R.Silhavy, ed.). Proceedings of 7th Computer Science On-line Conference 2018. –2018. –Vol.2. –pp.298-307. <https://www.semanticscholar.org/paper/Proactive-Management-of-Complex-Objects-Using-Bakhmut>

8. Эмиров Н.Д., Батталова С.С. Информационные услуги в современном информационном обществе: роль библиотек и их корпораций // Экономика и предпринимательство. 2017, №11(88), с.894-897 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32407663>

9. Parekh A. Introduction on Data Warehouse with OLTP and OLAP. International Journal of Engineering and Computer Science, 2(08). – 2017. Retrieved from <http://www.ijecs.in/index.php/ijecs/article/view/1819>

10. Раевич А.П., Добронец Б.С. Разработка концептуальной модели оперативно-аналитических витрин данных // Моделирование, оптимизация и информационные технологии. 2019, №7(4). -с.1-13. https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/Raevich_4_19_1.pdf. DOI:10.26102/2310-6018/2019.27.4.002.

11. Ахрем А.А., Рахманкулов В.З., Южанин К.В. О сложности редукции моделей многомерных данных // Искусственный интеллект и принятие решений, 2016, №4. -с.79-85. http://www.isa.ru/aidt/images/documents/2016-04/79_85.pdf

12. Moving Towards Real-Time Analytics: All About In-Memory Computing and Self-service BI // Financial and credit activity: problems of the theory and practice, 2019, №1(28). -pp.272-278. https://medium.com/@infopulseglobal_9037/moving-towards-real-time-analytics-all-about-in-memory-computing-and-self-service-bi-bac2e1936efd

13. Brezhnev R.V., Maltsev E.A. An Ontological Spatial Monitoring System for Agricultural Land Monitoring // Pattern Recognition and Image Analysis, 2015, vol.25, No.2, pp.201-208. <https://doi.org/10.1134/S1054661815020054>

14. Брагинская Л.П., Григорюк А.П., Ковалевский В.В. Онтологический подход к организации информационной поддержки исследований в активной сейсмологии. // Тезисы межд. конф. «Марчуковские научные чтения-2020» (МНЧ-2020, 19-23 октября 2020). –Новосибирск. -С.68-69. DOI:10.24411/9999-017A-2020-10369

15. Fomells M., Blasco D.M.J., Densnos Y-L., et al. ESA SNAP-Stamps Integrated Processing for Sentinel-1 Persistent Scatterer Interferometry // IGARSS, 2018, -pp.1364-1367. DOI:10.13140/RG.2.2.25803.90405

16. Раевич К.В., Маглинец Ю.А., Брежнев Р.В. Рассмотрение подходов к представлению знаний об оперировании пространственными данными в задачах мониторинга // Обработка пространственных данных в задачах мониторинга природных и антропогенных процессов (SDM-2019), Институт вычислительных технологий СО РАН, 2019. - С.172-177. <https://scholar.sfu-kras.ru/publication/41376555>

17. Бурцев М.А., Успенский С.А., Крамарева Л.С., Антонов В.Н., Калашников А.В., Балашов И.В., Кашницкий А.В., Лупян Е.А., Матвеев А.М., Прошин А.А. Современные возможности и перспективы развития Объединённой системы распределённой работы с данными НИЦ «Планета» // Современные проблемы дистанционного зондирования Земли из космоса. 2019, т.16, №3. -С.198-212. DOI:10.21046/2070-7401-2019-16-3-198-212.

18. Gruber T.R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases // Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proceedings of the Second International Conference (J.A. Allen, R. Fikes, E. Sandewell, eds.). -Morgan Kaufmann, 1991, pp. 601-602. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3087158.3087222>

19. Chen J., Cohn A.G., Liu D., Wang S., Ouyang J., Yu Q. A survey of qualitative spatial representations. Knowledge Engineering Review, 2013, 30(1). –pp.106-136. <https://doi.org/10.1017/S0269888913000350>
20. Steiniger S., Hunter A.J.S. Free and open source GIS software for building a spatial data infrastructure. / In: Bocher E., Neteler M., (eds.), Geospatial Free and Open Source Software in the 21st Century, LNCS, Heidelberg, Springer, 2012. P. 247-261
21. Koshkarev A.V. Geoportal as a tool to control spatial data and services. // Spatial data. 2008. № 2. P. 6-14.
22. Yakubailik O.E. Geoformation geoportal // Computational Technologies. Special Issue 3. 2007. V. 12. P. 116-125.
23. J.D. Blower, A.L. Gemmell, G.H. Griffiths, K. Haines, A. Santokhee, X. Yang. A Web Map Service implementation for the visualization of multidimensional gridded environmental data // Environmental Modelling & Software. 2013. V. 47. P. 218-224.
24. Becirspahic and A. Karabegovic. Web portals for visualizing and searching spatial data // Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2015. Opatija, Croatia. P. 305-311.
25. Титов А.Г., Гордов Е.П., Окладников И.Г. Разработка Веб-ГИС на основе сервисов обработки и визуализации пространственных данных для анализа и прогнозирования региональных климатических изменений // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2016. № 4-2. С. 96-109.

Метеорологиялық жүйелердің мониторингі мен модельдеуін зияткерлік етуде Big Data және Data Analytics қолдану

Н.Н.Ташатов¹, М.Е.Әшімова²

^{1,2} Д.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
E-mail: ¹tash.nur@mail.ru, ²moldir_kksu@mail.ru

Аңдатпа. Бұл жұмыстың негізгі мақсаты метеорологиялық деректердің, атап айтқанда, үлкен деректердің, аналитиканың (майнингті) және оперативті-аналитикалық деректердің, олардың ақпараттық кесінділерінің (профильдерінің) мониторингінің ағымдағы жағдайын (мақсаттары, мүмкіндіктері, технологиялары) жүйелі және метеорологиялық шешімдерді қабылдау үшін интеллектуалды қолдаудың онтологиялық көрінісін талдау болып табылады. Уақыт қатарларын олардың шулылығы жағдайында (тек «ақ», гаусс шуылдары қарастырылады), деректерді біріктіру және деректерді басқару модельдерін енгізу және метеорологиялық мониторинг үдерісінде модельдеу мәселелері қарастырылады. Зерттеуде талдау, декомпозиция, ситуациялық модельдеу, параметрлік сәйкестендіру, математикалық статистика, классификация және тәуекелдерді басқару әдістері қолданылады. Жұмыстың негізгі нәтижелері: 1) ақпараттық объектілерге сұранысты ескере отырып, «экожүйенің» жүйелік инфрақұрылымы ретінде аналитика мониторингі (қарапайымдылығы үшін үш деңгейлі); 2) деректердің сақталуын, талдауын және субъектінің қажеттіліктеріне сәйкес бейімделуін қамтамасыз ететін есептеу моделі, «жұмыс үстінде»; 3) мониторинг негізінде шешім қабылдауды ұсынудың құрылымдық онтологиялық схемасы, сондай-ақ оған сәйкес формалды математикалық модель. Тәжірибелік мониторингте алынған нәтижелер күрделі мәселелерді де (үлкен деректер Big Data негізінде) шешуге де, мониторингте қолайлы тәуекелдерді орнатуға (бағалауға), нашар жағдайда қауіпсіз, бақыланатын мониторинг үшін сәйкестендіру алгоритмдері мен бағдарламаларын (жоспарларын) құруға анықталған, анық емес жағдайларда мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: мониторинг; интеллектуалды; үлкен деректер; аналитика; метеорология

Using Big Data and Data Analytics to intelligently monitor and model meteorological systems

N.N.Tashatov¹, M.E.Ashimova²

^{1,2} L.N.Gumilyov Eurasian National university, Nur-Sultan, Kazakhstan

E-mail: ¹tash.nur@mail.ru, ²moldir_kksu@mail.ru

Annotation. The main purpose of this work is a systematic analysis of the modern state of monitoring (goals, capabilities, technologies) of meteorological data, in particular, big data, analytics (mining) and operational-analytical data storefronts, their information sections (profiles), ontological representation of intellectual support for meteorological decision making. The tasks of modeling using time series in conditions of their noisiness (only “white,” Gaussian noise is considered), data consolidation and implementation of data management models and meteorological monitoring process are also considered. The study uses methods of analysis, decomposition, situational modeling, parametric identification, mathematical statistics, classification and risk management. The main results of the work: 1) monitoring analytics as a system infrastructure of the “ecosystem,” taking into account the demand for information objects (three-level for simplicity); 2) a model of calculations that ensures the storage, analysis and adaptability of data according to subject needs, “on the fly”; 3) a structural ontological diagram of the presentation of decision making based on monitoring, as well as a formal mathematical model corresponding to it. The obtained results in practical monitoring will allow you to solve both complex tasks (based on Big Data), and set (evaluate) the risks allowed in monitoring, build identification algorithms and programs (plans) for safe, controlled monitoring in conditions of poorly defined, fuzzy situations.

Keywords: monitoring; intelligent; big data; analytics; meteorology

References:

1. Peng G., Downs R., Lacagnina C., Ramapriyan H., Ivanova I., et.al. Call to Action for Global Access to and Harmonization of Quality Information of Individual Earth Science Datasets // *Data Science Journal*, 2021, vol.20(1), p.19-29. DOI: <http://doi.org/10.5334/dsj-2021-019>
2. Baker K., Duerr R., Parsons M. Scientific Knowledge Mobilization: Co-evolution of Data Products and Designated Communities // *International Journal of Digital Curation*, 2016, Vol.10(2), pp.110–135. DOI: <https://doi.org/10.2218/ijdc.v10i2.346>
3. Kolesnikov I.N. Prognozirovanie vremennyh ryadov posredstvom privyazki sobytij [Forecasting time series by linking events] // *Modeling, ipsum et notitia technology [Modeling, optimization and information technology]* 2019. –№7(4). –S.12–21. DOI:10.26102/2310-6018/2019.27.4.039.
4. Perepletchikov V.I., Noskov V.YU. Razrabotka informacionnoj sistemy sbora i analiza dannyh meteorologicheskikh servisov na osnove tekhnologij Big Data [Development of an information system for collecting and analyzing data of meteorological services based on Big Data technologies] // *Teplotekhnika i informatika v obrazovanii, nauke i proizvodstve : sbornik dokladov TIM'2018 (VII Vserossijskoj nauchno-prakticheskoy konferencii studentov, aspirantov i molodyh uchyonyh s mezhdunarodnym uchastiem), 17–18 maya 2018 g. [Heat engineering and informatics in education, science and production : collection of reports TIM'2018 (VII All-Russian Scientific and Practical Conference of students, postgraduates and young scientists with international participation)]*–Ekaterinburg: OOO AMK «Den' RA», 2018. –S.487-493. <https://elar.urfu.ru/handle/10995/61614?mode=full>
5. Kostromin N.S., Sivova A.N. Perspektivy primeneniya nejrosetej dlya resheniya problem NNN-rybolovstva i piratstva v Arkticheskoy zone Rossii [Prospects of using neural networks to solve the problems of IUU fishing and piracy in the Arctic zone of Russia] // *Rossijskaya Arktika*. –2020. –№11. –p.24-30 <https://cyberleninka.ru/article/n/perspektivy-primeneniya-nejrosetey-dlya-resheniya-problem-nnrybolovstva-i-piratstva-v-arkticheskoy-zone-rossii/viewer>
6. Kolesnikov I.N., Finogeev A.G. Proaktivnyj monitoring sobytij na osnove prediktivnogo analiza vremennyh ryadov [Proactive monitoring of events based on predictive analysis of time series] *Modeli, sistemy, seti v ekonomike, tekhnike, prirode i obshchestve [Models, systems, networks in economics, technology, nature and society]*, 2020, vyp.1, s.111-125. DOI 10.21685/2227-8486-2020-1-9

- 7 Bakhmut A.D., Krylov A.V., Krylova M.A., Okhtilev M.Yu., Okhtilev P.A., Sokolov B.V. Proactive Management of Complex Objects Using Precedent Methodology // Artificial Intelligence and Algorithms in Intelligent Systems (R.Silhavy, ed.). Proceedings of 7th Computer Science On-line Conference 2018. –2018. –Vol.2. –pp.298-307. <https://www.semanticscholar.org/paper/Proactive-Management-of-Complex-Objects-Using-Bakhmut>
8. Emirov N.D., Battalova S.S. Informacionnye uslugi v sovremennom informacionnom obshchestve: rol' bibliotek i ih korporacij [Information services in the modern information society: the role of libraries and their corporations] // *Ekonomika i predprinimatel'stvo* [Economics and entrepreneurship] 2017, №11(88), s.894-897 <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=32407663>
9. Parekh A. Introduction on Data Warehouse with OLTP and OLAP. International Journal of Engineering and Computer Science, 2(08). – 2017. Retrieved from <http://www.ijecs.in/index.php/ijecs/article/view/1819>
10. Raevich A.P., Dobronec B.S. Razrabotka konceptual'noj modeli operativno-analiticheskikh vitrin dannyh [Development of a conceptual model of operational and analytical data showcases]. // *Modelirovanie, optimizaciya i informacionnye tekhnologii* [Modeling, optimization and information technologies] 2019, №7(4). -s.1-13. https://moit.vivt.ru/wp-content/uploads/2019/11/Raevich_4_19_1.pdf. DOI: 10.26102/2310-6018/2019.27.4.002.
11. Ahrem A.A., Rahmankulov V.Z., YUzhanin K.V. O slozhnosti redukcii modelej mnogomernyh dannyh [On the complexity of the reduction of multidimensional data models // *Iskusstvennyj intellekt i prinyatie reshenij* [Artificial intelligence and decision-making], 2016, №4. - p.79-85. http://www.isa.ru/aidt/images/documents/2016-04/79_85.pdf
12. Moving Towards Real-Time Analytics: All About In-Memory Computing and Self-service BI // *Financial and credit activity: problems of the theory and practice*, 2019, №1(28). -pp.272-278. https://medium.com/@infopulseglobal_9037/moving-towards-real-time-analytics-all-about-in-memory-computing-and-self-service-bi-bac2e1936efd
13. Brezhnev R.V., Maltsev E.A. An Ontological Spatial Monitoring System for Agricultural Land Monitoring // *Pattern Recognition and Image Analysis*, 2015, vol.25, No.2, pp.201-208. . <https://doi.org/10.1134/S1054661815020054>
14. Braginskaya L.P., Grigoryuk A.P., Kovalevskij V.V. Ontologicheskij podhod k organizacii informacionnoj podderzhki issledovanij v aktivnoj seismologii [An ontological approach to the organization of information support for research in active seismology] // *Tezisy mezhd. konf. «Marchukovskie nauchnye chteniya-2020»* [Abstracts of the international conference “Marchuk scientific readings-2020”] (MNCH-2020, 19-23 oktyabrya 2020). –Novosibirsk. -C.68-69. DOI:10.24411/9999-017A-2020-10369
15. Fomells M., Blasco D.M.J., Densnos Y-L., et al. ESA SNAP-Stamps Integrated Processing for Sentinel-1 Persistent Scatterer Interferometry // *IGARSS*, 2018, -pp.1364-1367. DOI:10.13140/RG.2.2.25803.90405
16. Raevich K.V., Maglinec YU.A., Brezhnev R.V. Rassmotrenie podhodov k predstavleniyu znaniy ob operirovanii prostranstvennymi dannymi v zadachah monitoringa [Consideration of approaches to the representation of knowledge about the operation of spatial data in monitoring] // *Obrabotka prostranstvennyh dannyh v zadachah monitoringa prirodnyh i antropogennyh processov* [Processing of spatial data in monitoring tasks of natural and anthropogenic processes] (SDM-2019), Institut vychislitel'nyh tekhnologij SO RAN, 2019, s.172-177. <https://scholar.sfu-kras.ru/publication/41376555>
17. Burcev M.A., Uspenskij S.A., Kramareva L.S., Antonov V.N., Kalashnikov A.V., Balashov I.V., Kashnickij A.V., Lupyan E.A., Matveev A.M., Proshin A.A. Sovremennye vozmozhnosti i perspektivy razvitiya Ob'edinyonnoj sistemy raspredelyonnoj raboty s dannymi NIC «Planeta» [. Modern opportunities and prospects for the development of a unified system of distributed work with the data of SIC “Planet”]// *Sovremennye problemy distancionnogo zondirovaniya Zemli iz kosmosa* [Modern problems of remote sensing of the Earth from space], 2019, t.16, №3. -S.198-212. DOI:10.21046/2070-7401-2019-16-3-198-212.
18. Gruber T.R. The role of common ontology in achieving sharable, reusable knowledge bases // *Principles of Knowledge Representation and Reasoning. Proceedings of the Second International Conference* (J.A. Allen, R. Fikes, E. Sandewell, eds.). -Morgan Kaufmann, 1991, pp. 601-602. <https://dl.acm.org/doi/10.5555/3087158.3087222>
19. Chen J., Cohn A.G., Liu D., Wang S., Ouyang J., Yu Q. A survey of qualitative spatial representations. *Knowledge Engineering Review*, 2013, 30(1). –pp.106-136. <https://doi.org/10.1017/S0269888913000350>

20. Steiniger S., Hunter A.J.S. Free and open source GIS software for building a spatial data infrastructure. / In: Bocher E., Neteler M., (eds.), Geospatial Free and Open Source Software in the 21st Century, LNC, Heidelberg, Springer, 2012. P. 247-261
21. Koshkarev A.V. Geoportal as a tool to control spatial data and services. // Spatial data. 2008. № 2. P. 6-14.
22. Yakubailik O.E. Geoformation geoportal // Computational Technologies. Special Issue 3. 2007. V. 12. P. 116-125.
23. J.D. Blower, A.L. Gemell, G.H. Griffiths, K. Haines, A. Santokhee, X. Yang. A Web Map Service implementation for the visualization of multidimensional gridded environmental data // Environmental Modelling & Software. 2013. V. 47. P. 218-224.
24. Becirspahic and A. Karabegovic. Web portals for visualizing and searching spatial data // Information and Communication Technology, Electronics and Microelectronics (MIPRO), 2015. Opatija, Croatia. P. 305-311.
25. Titov A.G., Gordov E.P., Okladnikov I.G. Development of Web GIS based on services for processing and visualizing spatial data for the analysis and forecasting of regional climate changes // Information and mathematical technologies in science and management. 2016. No. 4-2. pp. 96-109.

Б.Б. Тогизбаева¹, А.С. Кинжебаева¹¹L.N. Gumilyov Eurasian national university, NurSultan, Kazakhstan

E-mail: baglan099@mail.ru, kinaizh@gmail.com

Ерекше жүктерді тасымалдауға арналған құбырлы таспалы конвейерлерді зерттеу мәселесі

Аңдатпа. Мақалада құбырлы таспалы конвейердің тарту органындағы жалпы қарсылық күші жекелеген учаскелердегі қарсылық күштерін есептеу әдістемесі қарастырылған. Тұйық тарту элементі тұрақты түрде немесе қисық сызықты өткелдермен бір-бірімен байланысатын түзу сызықты учаскелерде мерзімді аядамалармен қозғалады.

Қарастырылып отырған құбырлы таспалы конвейердің конструкциясы, қолданыстағы құрылымдардан айырмашылығы, сусымалы жүктерді тасымалдау желісінің периметрі бойынша орналасқан тірек құрылғыларының арқасында таспаның жабық науасымен қалыптасады. Конвейерлік көліктің басты артықшылығы - жабдықтың жұмысын автоматтандыру арқылы қол жеткізілетін еңбек өнімділігінің жоғары деңгейі және төмен өндірістік шығындар екендігі анықталды. Оларға тән проблемалар-тасымалданатын жүкті ұсақтау қажеттілігі, өтпелі учаскелерді дәл тексеру, жетектерді үйлестіру және кейбір бастапқы дизайн жағдайларын ескере отырып, жұмыс барысында оңай реттелетін қозғалыстарды синхрондау.

Түйін сөздер: жүктерді тасымалдау, конвейер, құбырлы таспалы конвейер, роликті тіректер, құрылымдық параметрлер, қарсылық күштері.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-23-30

1. Кіріспе

Қазіргі уақытта құбырлы таспалы конвейерлер, әр түрлі пайдалану және құрылымдық параметрлері бар, сан алуан түрдегі көлемді тығыздықтағы және гранулометриялық құрамдағы жүктерді түрлі қашықтыққа таспа қозғалысының жылдамдығымен тасымалдай отырып, экологиялық зиянды жүктерді тасымалдау үшін көптеген салаларда кеңінен қолданыла алады, дәстүрлі таспалы конвейерлер тау-кен, тау-кен металлургиясы, химия өнеркәсібінде кеңінен қолданылатыны белгілі және басқа салаларда. Олар дизайнның қарапайымдылығымен, жұмыста сенімділігімен, жоғары еңбек қауіпсіздігімен ерекшеленеді. Бұл конвейерлер шахталарда, разрездерде және тау-кен кешендерінде үздіксіз тасымалдаудың негізгі құралдарының бірі болып табылады. Дәстүрлі дизайндағы таспалы конвейерлердің маңызды кемшілігі: лентадағы тасымалданатын жүктің қоршаған ортамен тікелей өзара әрекеттесуі, ал оның шаң басқан жүкпен үнемі ластануы орын алады, ал жүктің өзі сыртқы әсерлерге ұшырайды [2].

Қоршаған ортаны қорғау жөніндегі шараларды қабылдау жүктерді тасымалдаудың герметикалық жабық тәсілдерінің құбырлы таспалы конвейерлерінің дамуына ықпал етеді, олардың бірі құбырлы таспалы конвейерді (ҚТК) пайдалану кезінде жүзеге асырылады. Негізінде құбырлы конвейер кәдімгі таспалы конвейердің жетілдірілген нұсқасы болып табылады, мұнда конвейер таспасы көлденең қимада құбыр тәрізді пішінді қабылдай отырып, тұрақты шеңбердің контурын құрайтын етіп орнатылған.

Таспаның серпімділігіне байланысты оның шеттері қабаттасып, бір-біріне мықтап басылады. Жиектерді біріктірудің үлкен тығыздығы қоршаған ортаны ластанудан (төгілуден немесе шаңнан), ал жүкті табиғи факторлардың әсерінен: желден немесе жауын-шашыннан қорғайды.

Жетек, кернеу және қайтару барабандарының алдында құбыр ашылып, таспа тегіс Жетек, кернеу және қайтару барабандарының алдында құбыр ашылып, таспа тегіс пішінді алып, оларды еркін айналып өтеді. Конвейердің толық жабылуы жүктің жүктерден таралуына және қайтарылатын бұтақтардан айырылуына жол бермейді, өйткені таспаның тек таза жағы роликті тіректермен жанасады. Жабық жүйе қоршаған ортаға экологиялық жарамдылықты және үш өлшемді кеңістікте қисықтары бар жолды орнату мүмкіндігін қамтамасыз етеді, сондай-ақ әртүрлі көлемді салмақтағы, ылғалдылықтағы, бөлшектердің өлшемдеріндегі жүктердің сенімді тасымалдануына кепілдік береді.

Құбырға қалыптасқан конвейер таспасының қасиеті үш өлшемді кеңістікте иілуге мүмкіндік береді, қосымша құю станцияларысыз үздіксіз таспа негізінде конвейер жүйесін жобалауға мүмкіндік береді. Құбырлы конвейер таспасының жылдамдығы кәдімгі таспаның жылдамдығынан едәуір асып кетуі мүмкін [5].

Құбырлы пішін мыналарды қамтамасыз етеді: көршілес роликті тіректер арасында аз салбырау; төгілуді қоспағанда, жүкті тығыздау. Құбырлы конвейердің кәдімгі таспалы конвейермен көптеген ұқсастықтары бар: жетек, керу құрылғысы және тиеу құрылғысы бірдей, аралық тиеу және түсіру мүмкін; жабысқақ жүктерді тасымалдау кезінде тазалау құрылғылары қажет, қуат тұтыну кәдімгі конвейерге қарағанда төмен.

1-суретте [1] көмірді байыту фабрикасына және теміржол магистралі арқылы тасымалдайтын құбырлы таспалы конвейерлер көрсетілген.

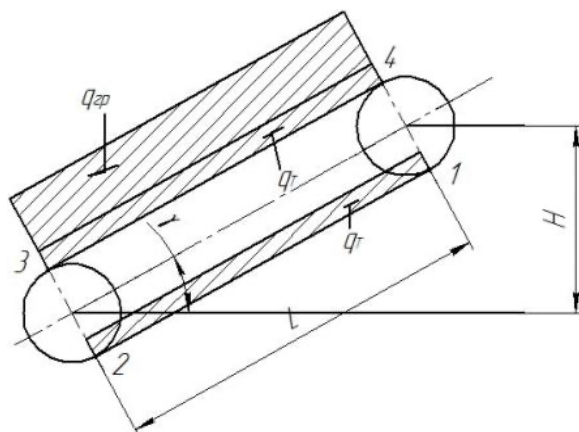


Сурет 1. Көмірді байыту фабрикасына және теміржол магистралі арқылы тасымалдайтын ҚТК

Таспалы құбырлы конвейерлер келесі артықшылықтармен ерекшеленеді:

- үйінді жүктерді тасымалдау кезінде қоршаған ортаны шаңнан сенімді қорғау;
- жүктерді сыртқы әсерлерден қорғау, бұл конвейерлерді пайдалану орындарындағы экологиялық жағдайды жақсартады;
- конвейер трассасының көлденең және тік иілу мүмкіндігі, бұл жүктерді конвейер желілерінің сенімділігін төмендететін шамадан тыс жүктеме түйіндерінсіз айтарлықтай қашықтыққа тасымалдауға мүмкіндік береді.

Құбырлы таспалы конвейерлер саласындағы ғылыми-техникалық әдебиеттерге шолу ҚТК тарту есептеуі, қозғалыс тұрақтылығын зерттеу, ҚТК құрылымдық параметрлерін таңдау бойынша ғылыми негізделген ұсыныстар жоқ екенін көрсетті. [4]



Сурет 2. Құбырлы таспалы конвейер схемасы

2. Әдістеме

ҚТК тарту органындағы жалпы қарсылық күші жекелеген учаскелердегі қарсылық күші ретінде анықталады. Жалпы жағдайда, тұйық тарту элементі тұрақты түрде немесе қисық сызықты өткелдермен бір-бірімен байланысатын түзу сызықты учаскелерде [12] мерзімді аялдамалармен қозғалады. Жеке учаскелердегі күштердің кедергісін қарастырамыз (2-сурет). [1]

Тік сызықты учаскеде γ көлденең бұрышпен қозғалатын жүкті жылжыту үшін қажетті тарту күштері γ көкжиекке дейін:

$$W_c = \pm G \sin \gamma + W_c \quad (1)$$

мұндағы G – тасымалдаушы мен жүк бөлігінің жиынтық салмағы;

- «+» жоғары қарай қозғалыс кезінде;

- «-» төмен қарай қозғалыс кезінде;

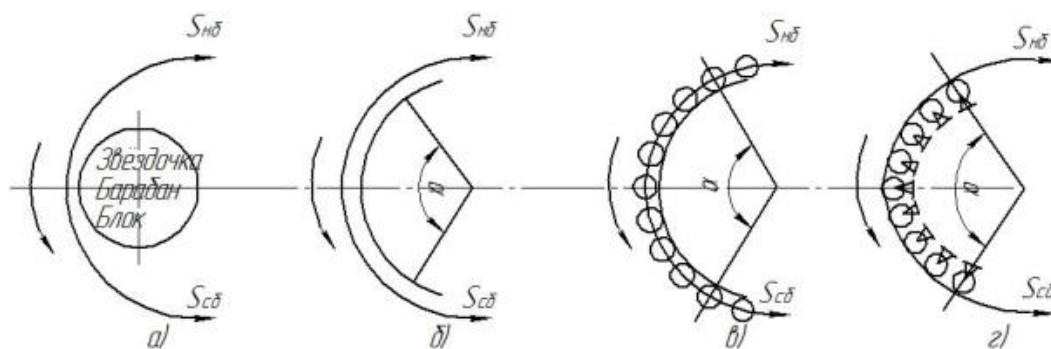
W_c – тірек құрылғыларындағы қалыпты қысым күшінің шамасына қатысты зиянды қарсылық күші:

$$W_c = \lambda N, \quad (2)$$

мұндағы $N = G \cdot \cos \gamma$

λ - конвейердің дизайнына байланысты қозғалысқа төзімділік коэффициенті.

Қисық сызықты учаскелерде құбырлы конвейердің икемді тарту элементі қозғалыс кезінде әртүрлі барабандарды, блоктарды, жұлдызшаларды, қозғалмайтын қисық сызықты бағыттағыштарды және т.б. айналып өтеді (3-сурет). [1]



Сурет 3. Қисық учаскелердегі қарсылық күштерін анықтау

Қисық сызықты бөліктің жалпы кедергісі иілу кезінде иілудің қаттылығынан және тартқыш элемент қашып кеткенде иілуден және иілу бөлігінің мойынтіректеріндегі үйкелістен кедергіден тұрады. [6]

Жетек барабанының, жұлдызшаның немесе блоктың айналуында (3,а-сурет) қарсылық күші жүгіретін ($S_{нб}$) және қашатын ($S_{сб}$) тармақтардағы кернеулер қосындысының үлесі ретінде анықталады, сонда:

$$W_{пр} = \lambda_{пр}(S_{нб} + S_{сб}) = (0,003 \dots 0,05)(S_{нб} + S_{сб})\lambda$$

Жетексіз барабанның, жұлдызшаның, блоктың айналуында қарсылық күші жетексіз барабандағы ($нб$) кернеуге пропорционалды түрде қабылданады:

$$W_{нб} = \lambda_{нб}S_{нб}$$

шеңбер бұрышы $\alpha = 180^\circ$ болғанда құбырлы таспалы конвейер аймақтары $\lambda_{нп} = 0,05 \dots 0,07$, $\lambda_{нп} = ,05 \dots 0,07$, ал $\alpha = 90^\circ$ болғанда $\lambda_{нб} = 0,03 \dots 0,05$. [7]

Тарту элементі қисық сызықты бағыттаушы бойымен сырғыған кезде:

$$S_{нб} = S_{сб} e^{fa}; \quad W = S_{сб} - S_{нб} = S_{нб}(e^{fa} - 1)$$

мұндағы a - радиандағы орталық бұрыш;

f – тарту элементінің сырғанау үйкеліс коэффициенті.

ҚТК әр нүктесіндегі кернеуді кернеу ең аз болатын нүктеден бастап контур бойымен айналып өту әдісімен анықтаймыз.

$$S_1 = S_c$$

$$S_2 = S_1 - q_T L \sin \gamma + q_T a \cos \gamma \omega$$

$$S_3 = S_2 + W_{2-3} = S_2 + \lambda_2 S_2 = (1 + \lambda_2) S_2$$

$$S_4 = S_3 + (q_T + q_{гр}) a \sin \gamma + (q_T + q_{гр}) a \cos \gamma \omega - S_{сб}$$

мұндағы q_T – тарту элементінің сызықтық салмағы;

$q_{гр}$ – жүктің сызықтық салмағы;

W_{2-3} – жетексіз барабандағы қозғалысқа төзімділік күші;

λ – қозғалысқа төзімділік коэффициенті.

S_1 күші таспаның барабанға жабысуын қамтамасыз ету үшін, сондай-ақ тарту элементінің салбырауын шектеу үшін таңдалады. [8]

Өте үлкен S_1 есептелген кезде және жетектің тарту қабілетін арттыру үшін келесі мәндер беріледі $S_1 = 1 \dots 3$ кН, $S_1 = 1 \dots 3$ кН.

Икемді тарту элементтері бар конвейер келесі ретпен есептеледі [9]:

1. ҚТК өлшемдері берілген өнімділік, орналасу және пайдалану шарттары негізінде анықталады;

2. Тарту элементінің кернеуі контур бойымен айналып өту әдісімен ҚТК әртүрлі нүктелерінде анықталады;

3. Тартқыш құрылғының салбырауын тексеру жүргізіледі;

4. Жетектің электр қозғалтқышының статикалық қуаты анықталады;

5. Кернеу барабанын жылжыту үшін қажетті күш есептеледі;

6. Тарту элементі есептеледі;

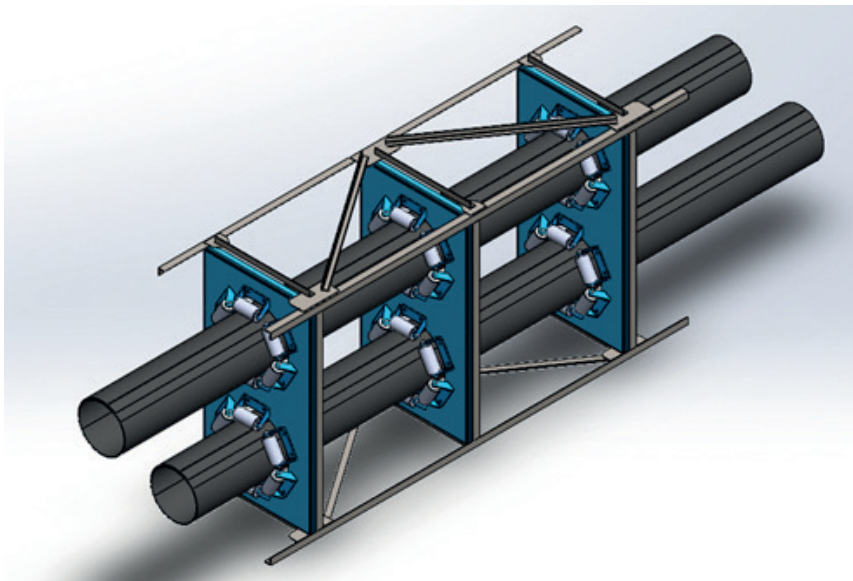
7. Жетек схемасы жасалады және кинематикалық есептеу жүргізіледі;

8. Іске қосу кезінде жетектің электр қозғалтқышының шамадан тыс жүктелуін тексеру жүзеге асырылады.

$S_{сб}$ – бұл жетек барабанынан қашу нүктесі, ол ең көп жүктелген бұтақтар соғылатындай етіп орнатылады.

3. Қорытынды

Алтыбұрышты жақтауларға бекітілген роликті тіректер таспаны жетек пен түсіру арасындағы, қайтару және тарту станциялары арасындағы бөліктерде қоршап, ұстайды. Тасымалдаудың жоғары жылдамдығы, шағын бұрылыс радиусы кез-келген қиындықтағы жолдарды жүзеге асыруға өте ыңғайлы, Mega Pipe типті таспаларды қолдану құбырлы таспаның диаметрін стандартты 700 мм-де 900 мм-ге дейін арттыруға мүмкіндік береді, таспаның ені 3200 мм-ге жетеді, ал өнімділік айтарлықтай артады, тасымалданатын жүктердің мөлшері бастапқы ұсақталғаннан кейін 350 мм-ге дейін жетеді. [1]



Сурет 4. ҚТК тармақтарының сызықтық бөлігі

Құбырлы таспалы конвейерлерді сусымалы жүктерді жабық түрде тасымалдауды қажет ететін көптеген өндіріс салаларында пайдалануға болатыны айқын, бұл пайдалану шығындары мен энергия шығындарын үнемдеуге мүмкіндік береді.

Сусымалы жүктерді тасымалдаудың жоғары жылдамдығы, шағын бұрылу радиусы кез-келген күрделіліктегі жолдарда тасымалдауды іске асыру үшін өте қолайлы.

Таспаның арнайы жабыны сусымалы, экологиялық зиянды жүктерді ұзақ қашықтыққа үнемді тасымалдауды қамтамасыз етеді.

Әдебиеттер тізімі

1. Сазамбаева Б.Т. Ленточные трубчатые конвейеры. Монография. Алматы 2017 – 183 с.
2. Ахметова Ш.Д., Сазамбаева Б.Т., Турдалиев А.Т., Самогин Ю.Н. Расчет критической скорости движения ленты ТЛК на основе метода конечных элементов. Инженерный журнал Справочник. - М. 2016. - № 9, С. 12-17.
3. Бажанов П.А. Методы оптимизации параметров трубчатого ленточного конвейера Горный информационно-аналитический бюллетень, 2009, №9.
4. Галкин В.И., Дмитриев В.Г. Современная теория ленточных конвейеров. М.: МГТУ, 2005. - 543 с.
5. Галкин. В.И. Особенности проектирования конвейерных линий с учетом надежности ленточных конвейеров. Журнал «Горное оборудование и электромеханика» №12, М, 2006.- с. 28-33.
6. Галкин В.И., Рассказов В.А. Многофакторный анализ показателей надежности карьерных автосамосвалов большой грузоподъемности. Журнал «Горное оборудование и электромеханика», М., 2008. -№ 12, стр. 25-27.
7. Галкин В.И. Особенности эксплуатации ленточных трубчатых конвейеров и ленточных конвейеров с пространственной трассой.-М.: МГТУ, 2014г.
8. Дмитриев В.Г., Ефимов М.С. Влияние различных факторов на угловые отклонения ленты трубчатого конвейера. Горный информационно-аналитический бюллетень. – М.: МГТУ, 2008. - №8, с. 235 - 237.
9. Дмитриев В.Г., Сергеева Н.В. Определение распределенных сопротивлений движению ленты на прямолинейных участках трассы ленточного трубчатого конвейера. Горный информационно-аналитический бюллетень. 2008. №9. 245 - 249 с.
10. Дмитриев В.Г., Дьяченко А.В. Методы анализа объемного напряженного состояния сыпучего груза в закрытом желобе трубчатого ленточного конвейера. ГИАБ. М.: МГТУ, 2004. - № 12, с. 241 - 243.
11. Дмитриев В.Г., Иванов Н.Ю. Аналитическое описание и анализ криволинейной пространственной трассы для ленточного трубчатого конвейера. Горный информационно-аналитический бюллетень. - 2012. - №12. - С. 201 - 205.
12. Сазамбаева Б.Т., Куанышев Г.И., Хадеев Г.И., Жуманов М.А. К вопросу исследования трубчатых ленточных конвейеров для транспортирования экологически вредных грузов. Материалы XI международной научно-практической конференции Science without borders-2015, Technical sciences. Sheffield, England S1 4LR, 2015- Vol.23, с.60-66.

Методика обоснования и расчета рациональных и конструктивных параметров трубчатого ленточного конвейера

Тогизбаева Б.Б.¹, Кинжебаева А.С.¹

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Astana, Kazakhstan
E-mail: baglan099@mail.ru, kinaizh@gmail.com)

Аннотация. В статье рассмотрена методика расчета сил сопротивления на отдельных участках общей силы сопротивления в тяговом органе трубчатого ленточного конвейера. Замкнутый тяговый элемент постоянно движется или периодически останавливается на прямолинейных участках, которые соединяются между собой криволинейными переходами.

Конструкция рассматриваемого трубчатого ленточного конвейера, в отличие от существующих конструкций, формируется закрытым лотком ленты благодаря опорным устройствам, расположенным по периметру линии транспортировки сыпучих грузов. Установлено, что главным преимуществом конвейерного транспорта является высокий уровень производительности труда и низкие производственные затраты, которые достигаются за счет автоматизации работы оборудования. Характерными проблемами для них являются необходимость дробления перевозимого груза, точная проверка переходных участков, координация приводов и синхронизация движений, которые легко регулируются в процессе работы с учетом некоторых исходных конструктивных условий.

Ключевые слова: транспортировка грузов, конвейер, трубчатый ленточный конвейер, роликовые опоры, конструктивные параметры, силы сопротивления.

Methodology of substantiation and calculation of rational and constructive parameters of a tubular belt conveyor

Togizbayeva B.B.¹, Kinzhebayeva A.S.¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

E-mail: baglan099@mail.ru, kinaizh@gmail.com)

Annotation. The article considers the method of calculating the resistance forces on individual sections of the total resistance force in the traction organ of a tubular belt conveyor. A closed traction element is constantly moving or intermittently stops on straight sections that are connected to each other by curved transitions.

The design of the considered tubular belt conveyor, unlike existing structures, is formed by a closed belt tray due to support devices located along the perimeter of the bulk cargo transportation line. It is established that the main advantage of conveyor transport is a high level of labor productivity and low production costs, which are achieved by automating the operation of equipment. Typical problems for them are the need for crushing of the transported cargo, accurate checking of transition sections, coordination of drives and synchronization of movements, which are easily adjusted during operation, taking into account some initial design conditions.

Keywords: cargo transportation, conveyor, tubular belt conveyor, roller supports, design parameters, resistance forces.

References

1. Sazambayeva B.T. Belt tubular conveyors. Monograph. Almaty 2017 – 183 p .
2. Akhmetova S.D., Sazambayeva B.T., Turdaliev A.T., Samogin Y.N. Calculation of the critical velocity of the TPC tape based on the finite element method. Engineering Journal Handbook. - M. 2016. - No. 9, pp. 12-17.
3. Bazhanov P.A. Methods of optimization of parameters of a tubular belt conveyor. Mining information and Analytical Bulletin, 2009, No.9.
4. Galkin V.I., Dmitriev V.G. Modern theory of belt conveyors. M.: MGSU, 2005.- 543 p.
5. Galkin V.I. Design features of conveyor lines taking into account the reliability of belt conveyors. Journal "Mining Equipment and Electromechanics" No. 12, M, 2006.- pp. 28-33.
6. Galkin V.I., Rasskazov V.A. Multifactorial analysis of reliability indicators of large-capacity dump trucks. Journal "Mining Equipment and Electromechanics", Moscow, 2008. - No. 12, pp. 25-27.
7. Galkin V.I. Features of operation of belt tubular conveyors and belt conveyors with a spatial route. -M.: MGSU, 2014.
8. Dmitriev V.G., Efimov M.S. The influence of various factors on the angular deviations of the tubular conveyor belt. Mining information and analytical bulletin. – M.: MGSU, 2008. - No. 8, pp. 235 - 237.
9. Dmitriev V.G., Sergeeva N.V. Determination of distributed resistance to the movement of the belt on straight sections of the route of the belt tubular conveyor. Mining information and analytical bulletin. 2008. №9. 245 - 249 c.

10. Dmitriev V.G., Dyachenko A.V. Methods of analyzing the volumetric stress state of bulk cargo in a closed trough of a tubular belt conveyor. GIAB. M.: MGSU, 2004. - No. 12, pp. 241 - 243.

11. Dmitriev V.G., Ivanov N.Yu. Analytical description and analysis of a curved spatial route for a belt tubular conveyor. Mining information and analytical bulletin. - 2012. - No. 12. - pp. 201 - 205.

12. Sazambayeva B.T., Kuanyshiev G.I., Khadeev G.I., Zhumanov M.A. On the issue of research of tubular belt conveyors for the transportation of environmentally harmful goods. Materials of the XI International Scientific and practical conference Science without borders-2015, Technical sciences. Sheffield, England S1 4LR, 2015- Vol.23, pp.60-66.

Авторлар туралы мәлімет:

Тогизбаева Б.Б. – "Көлік, көлік техникасы және технологиялары" кафедрасының меңгерушісі, техника ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Кинжебаева А.С. – докторант, "Көлік, көлік техникасы және технологиялары" кафедрасының оқытушысы, магистр, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Тогизбаева Б.Б. – Head of the Department, Doctor of Technical Science, at the «Transport, transport equipment and technologies» Department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Kinzhebayeva A.S. – PhD student, the "Transport, transport equipment and technologies" Department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Р.Т. Сахыбаев¹, Б.А. Қойайдаров²¹²М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз, Қазақстан
E-mail: ¹Sakhybayev@mail.ru, ²kaf_mim206@mail.ru

Технологиялық машиналардың жұмысшы жылдамдықтарын реттеу

Аңдатпа. Технологиялық машиналардың жұмысшы жылдамдықтарын технологияға немесе операторлық факторға қатысты белгіленген арналарда реттейді. Жылдамдықты сатылап немесе сатыламай реттеу әдістері қолданылады. Технологиялық машиналардың жұмысшы жылдамдықтарын үлкен арнада вариаторды және жылдамдықтар қорабын қолданып, ал кіші арнада вариаторды және редукторды қолданып реттеу әдістері құрылған. Жылдамдықтың өзгеру арнасын вариатордың реттеу арнасымен салыстырып, жылдамдықтың кіші немесе үлкен арнада өзгертін анықталады. Ені үлкен арнайы сына белдікті вариатордың кемшіліктерін ескеріп, оның орнына стандартты жетектік сына белдікті вариатор құру ұсынылған және оны құрудың негізгі мәселелері анықталған.

Кілтті сөздер: технология, машина, жылдамдық, өзгеру, реттеу, арна, сатылау, сатыламау, вариатор.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-31-36

Өндірісте технологиялық операциялардың орындалу сапасы және жұмыс өнімділігі технологиялық машиналардағы жұмысшы жылдамдыққа тәуелді. Сондықтан технологиялық жылдамдықты дұрыс таңдау және жүргізу маңызды мәселе [1].

Көп режимде жұмыс жасайтын технологиялық машиналарда, технология талабына байланысты, жұмысшы жылдамдық белгілі бір арнада реттеумен өзгертіледі.

Машина жасау өндірістеріндегі әмбебап металл кесетін станоктардың шпинделі үлкен арнада әртүрлі айналым санымен айналыс жасайды. Мысалы, 1К62 үлгідегі винт кесетін токарь станогінде шпиндельді 12,5÷2000 айн/мин аралығында 23 түрлі айналым санымен айналдырады [2,3].

Бұл технология талабы. Бірақ шпиндельдің жылдамдығы үлкен арнада сатыланып реттелетіндіктен станоктың кинематикалық құрылысы күрделі [2].

Өнеркәсіпте технологиялық операциялары оператордың қатысуымен орындалатын технологиялық машиналар және жүйелер бар. Мысалы, аяқ киім, тігін өндірістерінің технологиялық машиналары мен механикаландырылған лекті жүйелері [4].

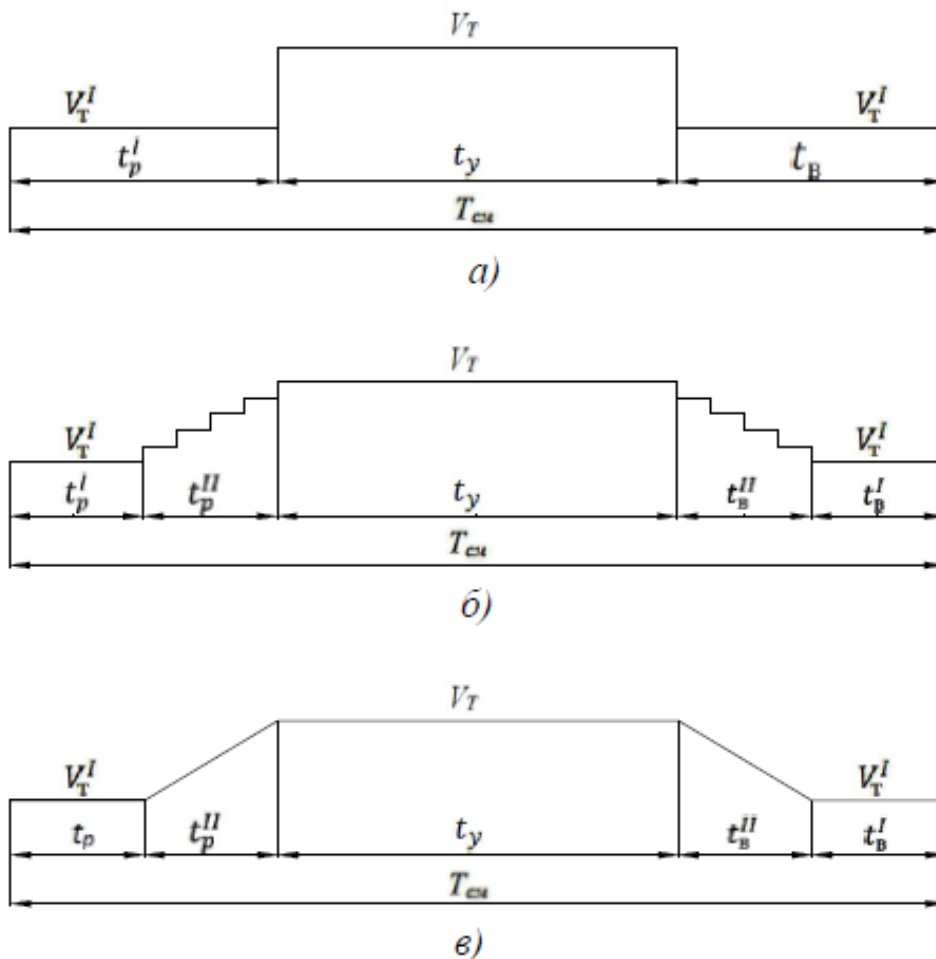
Оператордың жұмыс жасау жылдамдығы, көп жағдайда, өндірістік ауысымның басында және соңына қарай төмен болады. Сондықтан, оператор, ауысымның басында жұмысты төменгі жылдамдықта бастап, уақыт өте, үлкен жылдамдыққа ауысатын болуы керек, ал ауысымның соңына қарай, шаршауына байланысты, төменгі жылдамдыққа ауысады. Бұл режим сақталмаса технологиялық операцияның орындалу сапасы төмендейді.

Мұндай операторлық факторды ескеру үшін технологиялық машинада жұмысшы жылдамдықты реттейтін құрылым болуы керек.

Операторлық факторға қатысты технологиялық машиналардың жұмысшы жылдамдығын реттеуге ұсынылған әдістер 1-суретте келтірілді.

Бірінші әдісте (1,а-сурет) технологиялық машинаның жұмысшы жылдамдығын, операторға жылдамдыққа үйренуге берілген уақыт (t_p^I) өткеннен кейін, бірден, төменнен (V_T^I) жоғарыға (V_T) өзгертеді. Жылдамдық сатылау әдісімен реттеледі. Бұл режим операторлық фактордың әсерін жоймауы мүмкін, себебі, операторға үлкен жылдамдықты игеруге уақыт берілген жоқ. Бұл әдісті жүргізу үшін технологиялық машинаның жетегінде жылдамдықты өзгертетін бір сатылы реттейтін құрылым болу керек.

Екінші әдісте (1,б-сурет) операторға төменгі жылдамдықтан (V_T^I) жоғарғы жылдамдыққа (V_T) өтуге уақыт берілген (t_p^{II}), технологиялық машинада жылдамдықты бірнеше рет сатылап көтереді. Бұл режим операторлық фактордың әсерін жояды, себебі, оператор жоғарғы жылдамдыққа, оған біртіндеп жақындайтын, бірнеше жылдамдықпен жұмыс жасап өтеді. Ол үшін технологиялық машинаның жетегінде жылдамдықты өзгертетін көп сатылы реттейтін құрылым болу керек.



1-сурет. Технологиялық жылдамдықты реттеу нұсқалары

Үшінші әдісте (1,в-сурет) операторға төменгі жылдамдықтан (V_T^I) жоғарғы жылдамдыққа (V_T) өтуге уақыт берілген (t_p^{II}), технологиялық машинада жылдамдықты бірқалыппен үздіксіз көтереді.

Бұл режим операторлық фактордың әсерін жояды, себебі, оператор жұмысшы жылдамдықтың өсуіне үйреніп үлгереді.

Әдісті жүргізу үшін технологиялық машинаның жетегінде жылдамдықты сатыламай реттейтін құрылым болу керек. Мұндай құрылым жылдамдықтың өзгеру аралығында ($V_T^I \div V_T$) операторға кез келген жылдамдықпен жұмыс жасауға мүмкіндік жасайды.

Жалпы, технологиялық машиналардың жұмысшы жылдамдығы технологиялық талапқа немесе операторлық факторға байланысты кіші немесе үлкен арнада, сатыланып немесе сатыланбай реттелуі мүмкін.

Жылдамдықты сатылап реттеуді, негізінен, жылдамдықтар қорабымен, ал сатыламай реттеуді вариатормен орындайды [2,5,6].

Жылдамдықтар қорабымен сатылап реттеудің кемшіліктері: жылдамдықтың өзгеру арнасынан кез келген жылдамдықты бере алмайды; технологиялық машинаның кинематикалық құрылысы күрделенеді [2].

Осыған байланысты технологиялық машинаның жылдамдығын үлкен арнада реттеуге сатылау және сатыламау әдістерін бірге қолдану ұсынылды [7,8].

Осы әдіске құрамдалған технологиялық машинаның (1) жетегі электрқозғалтқыштан (2), вариатордан (3) және жылдамдықтар қорабынан (4) тұрады (2-сурет). Бұл жетек жылдамдықтың өзгеру арнасын жылдамдықтар қорабымен (3), вариатордың реттеу арнасына келтіріп, бірнеше аралықтарға бөледі, ал аралықтардан кез келген жылдамдықты вариатормен (2) береді. Осы құрылымдық схема технологиялық машинаның кинематикалық құрылысын қарапайым түрге келтіреді, себебі, жылдамдықтың өзгеру арнасын вариатордың реттеу арнасына бөлген кезде, жылдамдықты вариатормен реттейтін аралықтар саны көп болмайды, сол себепті, жылдамдықтар қорабы аз сатылы болады.



2-сурет. Технологиялық жылдамдықты үлкен арнада реттейтін жетектің құрылымдық схемасы

Жылдамдықты сатыламай реттеуге міндетті түрде вариатордың қатысы болатындықтан, жылдамдықтың өзгеру арнасын вариатордың реттеу арнасымен салыстырып, кіші және үлкен арна деп екіге бөлуге болады.

Егер жылдамдық тек вариатормен реттелетін болса, онда ол кіші арнада өзгереді, ал егер вариатормен реттелмейтін болса, онда жылдамдық үлкен арнада өзгереді.

Жылдамдықты кіші арнада сатыламай реттеуге құрамдалған технологиялық машинаның (1) жетегі электрқозғалтқыштан (2), вариатордан (3) және редуктордан (4) тұрады (3-сурет).



3-сурет. Технологиялық жылдамдықты кіші арнада реттейтін жетектің құрылымдық схемасы

Бұл схемада технологиялық машинаның жетегінің беріліс қатынасын вариатор мен редуктор береді

$$U = U_{\text{в}} \cdot U_{\text{р}} , \tag{1}$$

мұнда: $U_{в}$ - вариатордың беріліс қатынасы;

$U_{р}$ - редуктордың беріліс қатынасы.

Вариатордың беріліс қатынасы келесі аралықта реттеледі

$$U_{в} = 1 \div U_{вmax} .$$

Егер $U_{в} = 1$ болса, онда жетек жоғарғы жылдамдықты береді. Бұл кезде жетектің беріліс қатынасы редуктордың беріліс қатынасына тең болады

$$U = U_{min} = U_{р} = \frac{n_{дв}}{n_{Tmax}} , \quad (2)$$

мұнда: $n_{дв}$ - электрқозғалтқыштың айналым саны, айн/мин;

n_{Tmax} - технологиялық машинаның бас білігінің үлкен жұмысшы жылдамдықты беретін айналым саны, айн/мин.

Егер $U_{в} = U_{вmax}$ болса, онда жетек төменгі жылдамдықты береді. Бұл кездегі жетектің беріліс қатынасы

$$U = U_{max} = U_{вmax} \cdot U_{р} = \frac{n_{дв}}{n_{Tmin}} , \quad (3)$$

мұнда: $U_{вmax}$ - вариатордың үлкен беріліс қатынасы;

n_{Tmin} - технологиялық машинаның бас білігінің кіші жұмысшы жылдамдықты беретін айналым саны, айн/мин.

Жоғарыда ұсынылған схемалармен (2-,3-суреттер) технологиялық машинаға жетек құру үшін вариатор таңдау керек.

Механикалық вариаторлардан сына белдікті вариаторды таңдау тиімді болады. Себебі, сына белдікті вариатордың құрылысы жеңіл, шусыз жұмыс жасайды, жұмысы сенімді, реттеу арнасы жеткілікті, құны қолжетімді [6].

Бірақ, қазіргі кездегі сына белдікті вариатордың кемшіліктері бар: ені үлкен арнайы сына белдік керек; вариатордың реттеу арнасы арнайы сына белдіктің еніне тәуелді; реттеу кезінде арнайы сына белдік енінен сығылатын болғандықтан тез тозады; арнайы сына белдіктің құны жоғары [6].

Осыған байланысты сына белдікті вариатордың тиімділігін көтеру мақсатында келесі мәселелерді шешу керек:

1. Вариатор құруға жетектік стандартты сына белдікті пайдалану.
2. Жетектік стандартты сына белдіктің шкивінің диаметрін өзгерту әдісін табу.
3. Вариатордың қозғалысын тоқтатпай реттеу әдісін құру.
4. Жетектік стандартты сына белдікті вариатордың ішкі заңдылықтарын анықтау.
5. Жетектік стандартты сына белдікті вариаторды жобалау әдістемесін құру.

Қорытынды

1. Өнеркәсіптегі технологиялық машиналардың жұмысшы жылдамдықтары технология талабына немесе операторлық факторға байланысты белгілі бір аралықтарда өзгертіледі.

2. Көп режимде жұмыс жасайтын технологиялық машиналардың жұмысшы жылдамдықтары үлкен арнада өзгертіледі.

3. Үлкен арнада өзгертін жылдамдықты вариатор мен жылдамдықтар қорабын қолданып сатыламай реттеу әдісі ұсынылды.

4. Кіші арнада өзгертін жылдамдықты вариаторды және редукторды қолданып сатыламай реттеудің құрылымдық схемасы құрылды.
5. Технологиялық машиналардағы операторлық фактордың әсерін жоюға жұмысшы жылдамдықты реттеу әдістері ұсынылды.
6. Жылдамдықты сатыламай реттеуге жетектік стандартты белдікпен жұмыс жасайтын вариатор құру ұсынылды және мәселелері анықталды.

Әдебиеттер

1. Podgornyj Y., Martynova T., Skeebe V. On the issue of limiting the irregular motion of a technological machine within specified limits. *Metal Working and Material Science*, 24(2), pp. 66-77.
2. Черпаков Б.И., Альперович Т.А. *Металлорежущие станки: учебник для нач. проф. образования.* – 4-е изд., стер. – М.: издательский центр «Академия», 2010. – 368 с.
3. *Основы технологии машиностроения: учебное пособие / В.Ф. Скворцов.* – Томск: Изд-во Томского политехнического университета, 2012. – 352 с.
4. *Машины и аппараты легкой промышленности: учебник для студ. высш. учеб. заведений / В.В. Сторожев.* – М.: Издательский центр «Академия», 2010. – 400 с.
5. Podrigalo M. et al. Energy Efficiency of Vehicles with Combined Electromechanical Drive of Driving Wheels. – *SAE Technical Paper*, 2020. – №. 2020-01-2260.
6. Проектирование механических передач: учеб. пособие для втузов / Чернавский С. А., Снесарёв Г. А., Козинцов Б. С. и др.; общ. ред. Козинцов Б. С., Козинцова М. Б. - 7-е изд., перераб. и доп. - М.: Инфра-М, 2013. - 535 с.
7. Койайдаров Б. А., Койайдаров А. Б. Способ регулирования числа оборотов шпинделя металлорежущего станка. *Инновационный патент №20998.*
8. Қойайдаров Б. А., Сапарова Н. Ж., Қойайдаров А. А. Технологиялық машиналарға реттелетін механикалық жетек. *Журнал “Механика және технологиялар” №2, 2020ж.*

Регулирование рабочих скоростей технологических машин

Сахыбаев Р.Т.¹, Койайдаров Б.А.²

¹²Таразский региональный университет им. Х. Дулати, Тараз, Казахстан
E-mail: ¹Sakhybayev@mail.ru, ²kaf_mim206@mail.ru

Аннотация. Рабочих скоростей технологических машин регулируют в диапазонах, предусмотренных технологией или операторным фактором. Применяют ступенчатых или бесступенчатых способов регулирования скорости. Предлагается регулировать рабочих скоростей технологических машин в большом диапазоне с применением вариатора и коробки скоростей, а в малом диапазоне с применением вариатора и редуктора. Сравнив диапазона изменения скорости с диапазоном регулирования вариатора, определяют, малый и большой диапазоны изменения скорости. В замен клиноременного вариатора со специальным широким клиновым ремнем, предлагается, создать клиноременный вариатор со стандартным приводным клиновым ремнем, определены основные задачи его разработки.

Ключевые слова: Технология, машина, скорость, изменение, регулирование, диапазон, ступенчатый, бесступенчатый, вариатор.

Regulation of working speeds of technological machines

Sakhybaev R.T.¹, Koiaidarov B.A.²

¹²*Taraz Regional University named after H. Dulati, Taraz, Kazakhstan*

E-mail: ¹Sakhybayev@mail.ru, ²kaf_mim206@mail.ru

Abstract. The operating speeds of technological machines are regulated in the ranges provided by the technology or the operator factor. Stepwise or stepless methods of speed control are used. It is proposed to regulate the operating speeds of technological machines in a large range with the use of a variator and a gearbox, and in a small range with the use of a variator and a gearbox. Comparing the speed range with the variator control range, determine the small and large ranges of speed change. In replacement of a V-belt variator with a special wide V-belt, it is proposed to create a V-belt variator with a standard drive V-belt, the main tasks of its development are defined.

Keywords: Technology, machine, speed, change, regulation, range, step, stepless, variator.

References

1. Podgorniy Y., Martynova T., Skeebe V. On the issue of limiting the irregular motion of a technological machine within specified limits. *Metal Working and Material Science*, 24(2), pp. 66-77.
2. Cherpakov B.I., Al'perovich T.A. *Metallorazhushhie stanki: uchebnyy dlya nach.prof.obrazovaniya. – 4-e izd., ster. – Moscow: publishing center "Academy", 2010. – 368 p.*
3. *Osnovy tehnologii mashinostroeniya: uchebnoe posobie / V.F. Skvorcov. –Tomsk: Publishing House of Tomsk Polytechnic University, 2012. – 352 p.*
4. *Mashiny i apparaty legkoj promyshlennosti: uchebnyy dlya stud. vyssh. ucheb. zavedenij / V.V.Storozhev. – Moscow: publishing center "Academy", 2010. – 400 p.*
5. Podrigalo M. et al. Energy Efficiency of Vehicles with Combined Electromechanical Drive of Driving Wheels. – SAE Technical Paper, 2020. – №. 2020-01-2260.
6. *Proektirovanie mehanicheskikh peredach : ucheb. posobie dlya vtuzov / Chernavskij S. A., Snesarjov G. A., Kozincov B. S. i dr.; obshh. red. Kozincov B. S., Kozincova M. B. –7-e izd., pererab. i dop. –Moscow: Infra-M, 2013. –535p.*
7. Koiaidarov B.A., Koiaidarov A.B. Sposob regulirovaniya chisla oborotov shpindelja metallozhushhego stanka [A method for regulating the number of revolutions of the spindle of a metal-cutting machine]. Innovation Patent № 20998.
8. Koiaidarov B.A., Saparova N.Zh., Qojajdarov A.A. Tehnologijalyq mashinalarga retteletin mehanikalyq zhetek [Adjustable mechanical drive to process machines.]. Zhurnal "Mehanika zhəne tehnologijalar" [Journal "mechanics and technologies"], 2020, № 2.

A. Zhussupbekov^{1,2}, A. Omarov¹, J.S. Dhanya¹,
A. Issakulov^{1*}, S. Iskakov¹

¹Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Kazakhstan

²Moscow State Civil Engineering University, Moscow, Russian Federation

E-mail: issakulov.abilkhair@gmail.com

Investigation of laboratory and field tests of piles installed by displacement technology

Abstract. When compared to conventional pile systems, the Drilled Displacement System (DDS) and Continuous Flight Auger (CFA) piles offer advantages in terms of improved load-carrying capacity, quicker installation, and less spoil generation. In this article, experiments on miniature piles built utilizing the Drilled Displacement System (DDS) and Continuous Flight Auger (CFA) technologies in a soil-filled test tank are described. For the study, model piles with dimensions of 20 mm in diameter and 300 mm in length were used, scaled at 1/20. The model piles are subjected to static loading, and throughout each phase of the loading process, the relevant displacements are measured. For both DDS and CFA piles, the analysis's findings on load-settlement curves and estimates of ultimate bearing capacity were compared. The results of model tests showed that the load-bearing capacity of DDS technology is 3.2 times higher than CFA technology. Using the model test results, a recommendation was made to apply DDS technology to field test work. Additionally, full-scale field tests with static loads were performed on DDS-drilled piles with dimensions of 400 mm in diameter and 6 m in length. The field test's load-settlement response exhibits good agreement with the model testing. Overall, the study's findings offer insightful information about the behavior and performance of DDS piles that may be used to improve the design and installation of these piles in various soil types.

Keywords: scaled model tests, model piles, bearing capacity, static load test

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-37-48

1. Introduction

Pile foundations are the most demanded type of foundations at construction sites on the territory of Kazakhstan. To date, the following types of pile foundations are widely used on construction sites (see Fig.1):

1. Driven piles using hydraulic hammers made by Junttan, Banut-650, Rapat;
2. Drive-in piles with diesel hammers type MSDSh1, MSDT1;
3. Piles were driven by indentation with the help of "Tizer" equipment;
4. Drilled piles with casing pipe using traditional technology of pile foundation making with the help of drilling equipment SO-2;
5. Bored piles, protected by casing, installed with the help of modern "Bauer", and "Casagrande" drilling rigs
6. Bored piles with a continuous through-type auger, installed by CFA technology
7. Drilled piles with short boring augers, arranged with SM-70, SBU-100, Klemm, and Soilmec;

- 8. Drilled bored piles in the rolled boreholes using DDS (FDP) technology, with the help of “Bauer” equipment;
 - 9. Jet Grouting piles, “Jet Grouting” type.
- Full classification of piles used at construction sites in Kazakhstan, taking into account the modern technology of their device is shown in Fig.1.

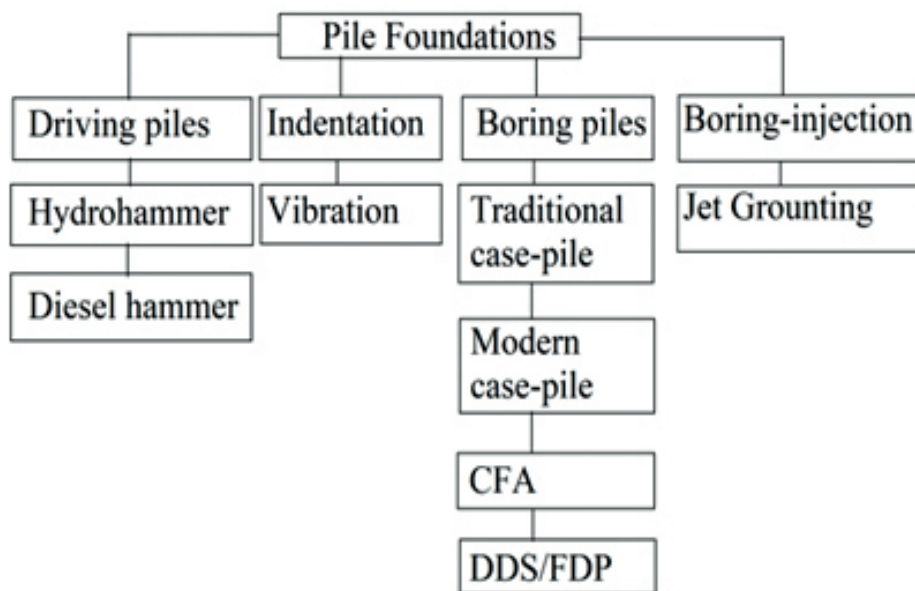


Figure 1. Pile foundations used on construction sites in Kazakhstan

The study of pile foundations, as well as DDS (FDP) and CFA technology, has been studied by many domestic and foreign scientists at different times. A significant contribution to the issue under consideration was made by Decourt et al. [1], Van Impe [2], Bazarbayev [3], Rad et. al [4], Zhusupbekov et al. [5].

On Kazakhstani soil, pile foundations are the type of foundation that is most frequently used at construction sites. The reason why pile foundations are so popular is because they protect the pile’s load-bearing capacity, which is drilled and filled as a result of the increased load from high-rise buildings and structures. Due to the lack of current regulatory documents and recommendations for the installation of pile foundations using contemporary technologies, new technologies and devices that have emerged in connection with the installation of drilled-filled pile foundations force designers to improve regulatory documents [6].

Building pile foundations recently has included the utilization of Continuous Flight Auger (CFA) piles and Drilled Displacement System (DDS) piles. When noise and vibration levels need to be kept to a minimum in urban settings, DDS piles are a form of displacement pile that are frequently employed. With the aid of a hydraulic press, a steel casing is pushed into the earth while soil is also removed and a hole is made. Concrete and reinforcing steel are then used to fill the space, creating a sturdy base upon which to erect the structure. DDS piles can be constructed in a variety of soil conditions and are commonly utilized for small to medium-sized structures. On the other hand, a continuous flight auger is drilled into the earth to the needed depth in order to construct a CFA pile, a sort of auger cast pile. The auger is then pulled out and concrete is injected through its hollow stem to fill the space it leaves behind as it is pulled out. As a result, a continuous concrete column is produced, serving as a sturdy base for the subsequent construction of the structure. Large constructions with difficult soil conditions, such as soft soil and rock, frequently use CFA piles.

DDS technology reduces the time, effort, and cost associated with earthworks while simultaneously increasing the load-bearing capacity of piles. Over the past ten years, installation of drilled-filled piles using DDS technology has gained popularity in both Europe and the US. The major benefits of this method include great economic efficiency, noise and vibration reduction during pile installation, and increased pile bearing capacity [7]. Despite the benefits listed above, this technology has a drawback in that it runs the risk of affecting the foundations of existing buildings and structures. For this reason, it is not advised to use this method in situations where there is dense urban construction.

Installation of drilling equipment at the drilling site; immersion of the drilling tool with a sealing system to the design mark; connection of the concrete pump followed by filling the well with concrete mixture and simultaneous extraction of the drilling tool; immersion in the well with concrete reinforcement frame to the design mark; are the operations that make up the sequence of work for installing drilling piles made using DDS technology. The drilling instrument (Figure 2) is a unique aspect of the DDS technology. Because the well is being dug out simultaneously with the drilling, the soil is compacted radially without having to be dug up, and the walls are compacted when drilling up [8]. With the help of this technique, heaps up to 0.6 meters in diameter and 30 meters in depth can be arranged. The following factors should be taken into account when evaluating productivity: pile diameter, torque and pressing force exerted, and density (soil strength, soil compaction, and concrete pump power).

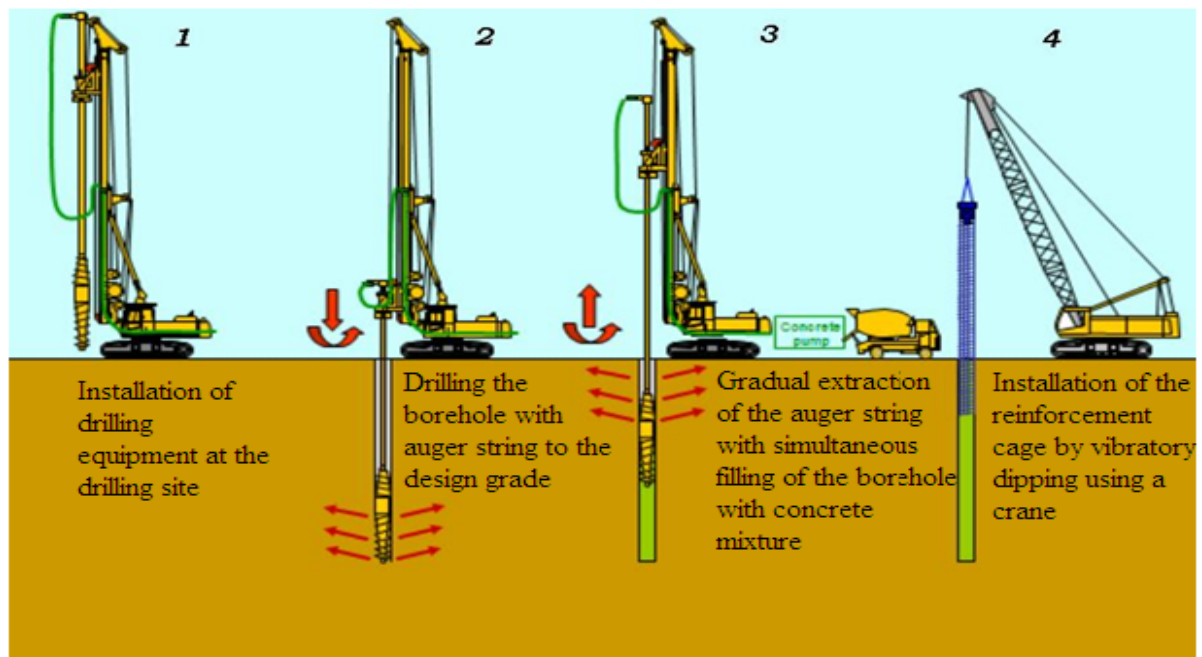


Figure 2. Diagram of pile production using DDS technology

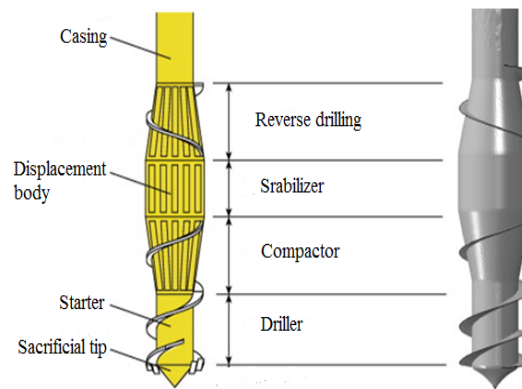


Figure 3. Description of DDS technology drilling Auger

Methods of physical modeling are used to solve a wide range of studies of the behavior of material objects both within the limits of elastic and plastic deformation and in the state of limit equilibrium and fracture. Due to the development of numerical methods for solving various problems using computational technology, mathematical modeling in many cases has become preferable to experimental modeling. However, the latter are indispensable when investigating the mechanism of the processes under study - without them, it is impossible to construct a mathematical description [9].

The purpose of the present study is to carry out scaled model tests on model test piles installed using the DDS and CFA technology and to compare the load-settlement response. Also, based on the results of model tests, to develop a recommendation for field tests.

2. Comparison of bearing capacities of model drilled micro piles using DDS and CFA technologies

In order to investigate the effect of horizontal and stepwise deformations of a soil massif on changes in its stress-strain state and on the vertical bearing capacity of foundations, model tests of bored piles in a horizontal and stepwise deformable medium on a scale of 1:20 were carried out. And also, based on the results of the tests, develop recommendations for field trials. The choice of piles of this scale was due to the need for numerous tests. In addition, the analysis of the study [10, 11] conducted on models of a close scale showed that tests of such models allow us to obtain a qualitatively correct idea of the interaction of foundations with the ground.

Model tests of piles was carried out on a test tank setup which was developed and implemented in Geotechnical Institute of the Eurasian National University (Figure. 2). The test material used is poorly graded sand of angular shape with a specific gravity of 2.62 and unit weight of 1.7 g/cm^3 . Based on direct shear test carried out on the test specimen, the sand was found to have an angle of internal friction of 37° . An equivalent material (97% sand and 3% spindle oil) was used as a base to achieve minimal cohesion of 0.9 kPa and elastic modulus of 0.24 MPa. The test bed was prepared in five layers and each layer was compacted using tamping to achieve a relative density of 75%.

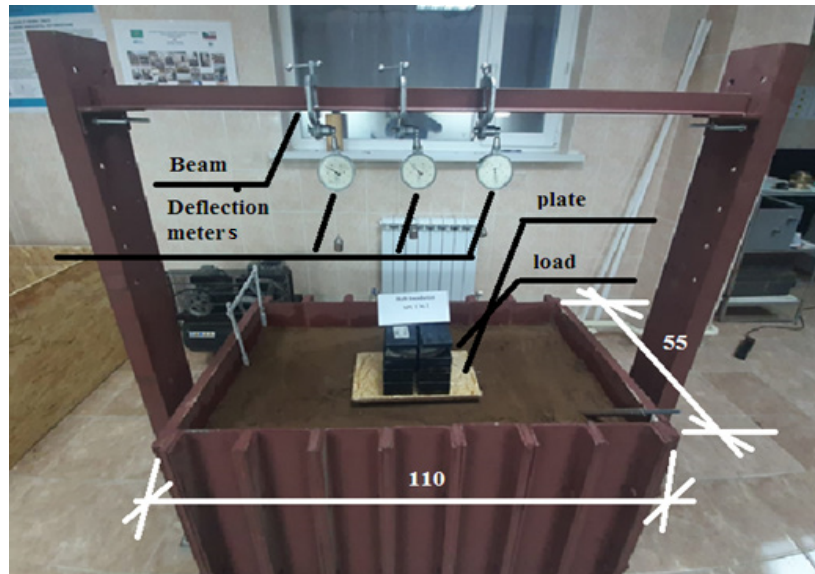


Figure 4. Volumetric stand

The augers were prepared for installation of model piles by DDS and CFA technologies with a diameter of 20 mm and a length of 300 mm considering a scale factor of 1/20. Figure 5 shows the augers used to install the model pile DDS (b) the model pile CFA (a) which performed by technologies.

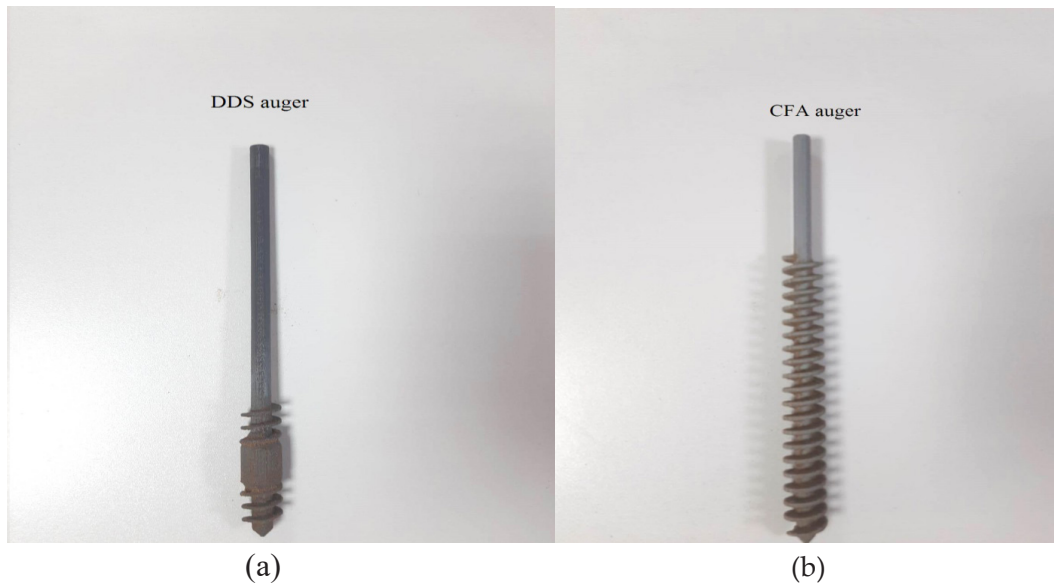


Figure 5. Photographs of test auger a) model DDS auger b) model CFA auger

Figure 6 shows the static load test setup for the present study. The load on the pile was applied in steps of 39 N to the ultimate 235 N with metal weights of 4 kg. The displacement of the model pile was measured by deflectometer with accuracy class of 0.01 mm, which are attached to the frame of the volumetric stand.



Figure 6. Static tests of the DDS and CFA model piles

2.1 Field studies on DDS piles

Based on the recommendation from model studies, field investigation was conducted on 2 test piles with a diameter of 400 mm, length 6 m at a test site in Astana, Kazakhstan using the DDS technology. The soil properties at the test site for different depths are shown in Table 2.

Table 1. Physical and mechanical properties of soils

Layer no.	Soil description	Layer thickness, m	Soil properties		
			E, MPa	C, kPa	φ , deg.
1	top soil-loam	0,4	-	-	-
2	loam	5,1	4,8	17,6	16
3	gravelly sand	5,1	35	-	39
4	silty clay	1,0	4,8	17,6	16-
5	rock debris with silty clay inclusions	4,4	-	-	-

The load on the pile was applied in steps of 180 kN and 90 kN to the limit of 1080 kN by the hydraulic jack DU200P150 (Figure 7). The hydraulic jack force is regulated by fluid supply from the pumping station and fixed with a technical manometer. Pile movement is measured by means of displacement transducers with accuracy of 0.01 mm, which are fixed on a bench mark system fixed to the ground. The reference system is independent of the movement of the beam and pile system (Figure 7).

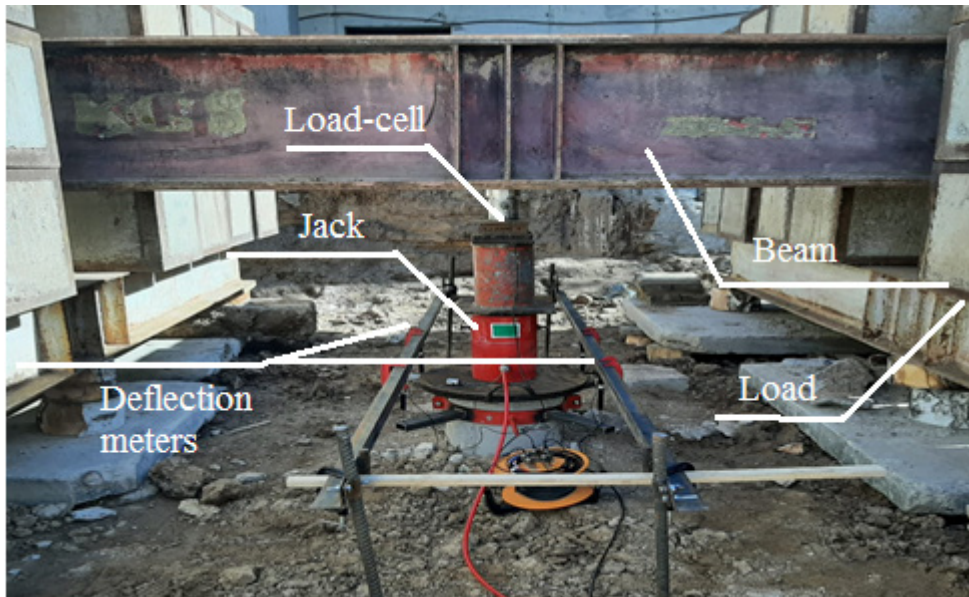


Figure 7. Field test results of load-settlement response of DDS piles

3. Results and Discussion

Static tests on the model piles DDS (Drilled displacement system) and CFA (Continuous flight auger) were carried out on the volumetric stand. After the static test, the «settlement- load» graphs of the DDS and CFA piles were obtained. The DDS model pile sag was 12.21 mm, and the CFA model pile was 19.25 mm.

The CFA technology piles at a load of 196 N were completely submerged. The test results show that the bearing capacity of the DDS model pile is higher than the CFA piles. Considering the results of our model tests, it was recommended to use DDS technology for bored piles at the «Asyltay» (Astana, Kazakhstan) construction site. At the same settlement of 12.21m, the bearing capacity of the DDS model pile was 3.2 times higher than the CFA model pile (Figure 8). Figure 8 shows graph «load – settlement» of the DDS and CFA model piles.

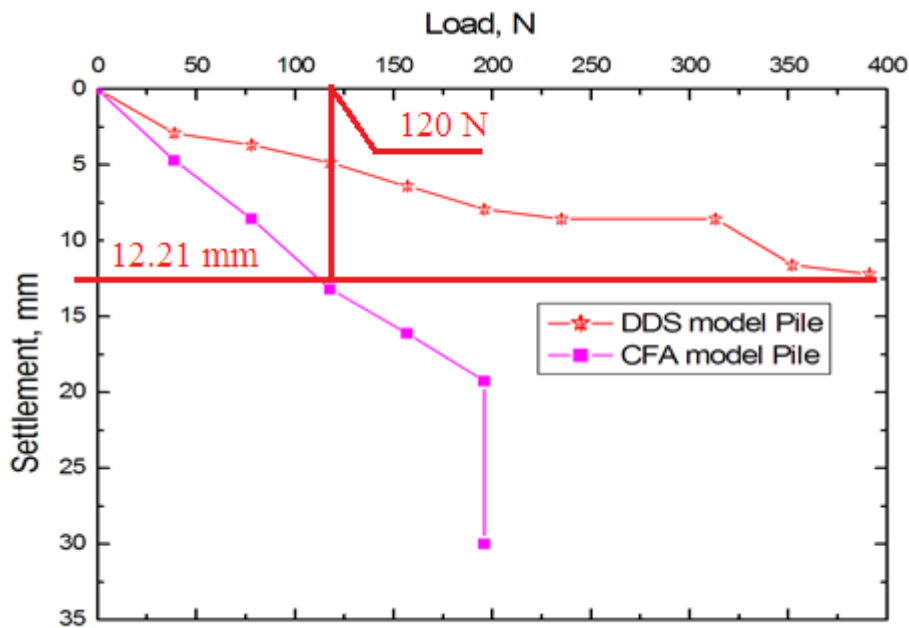


Figure 8. Load – settlement response of the DDS and CFA model piles

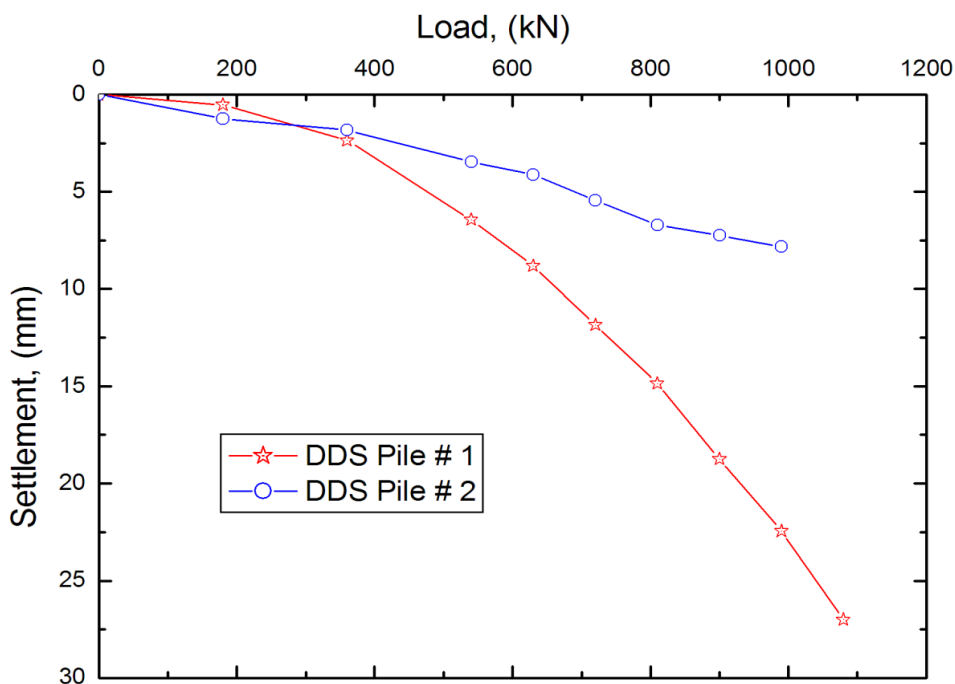


Figure 9. Field test results of load-settlement response of DDS piles

For the construction of industrial and civil multi-story buildings, the DDS pile technology is taken in accordance with the Construction Norms and Regulations RK 5.01-01-2002 for reinforced concrete structures [12]. This technology offers several advantages, making it particularly attractive for use in dense urban areas. One of the main advantages is the absence of vibration or noise during the construction process. Additionally, there is no need for soil

excavation, which reduces the overall cost of the project by eliminating the need for soil removal. The onboard computer controls the entire process, ensuring high accuracy of pile setting in the plan, compliance with the verticality of drilling, immersion depth of the working body, and the pressure of concrete when filling the borehole. As a result, high-quality concreting is achieved with smooth and strong walls after unrolling, and pressurized concrete feeding through the hollow unroller.

4. Conclusion

Based on the results of testing model piles on a volumetric stand, a comparative analysis of the bearing capacities of model piles using DDS and CFA technologies was obtained. The results showed that the load-bearing capacity of model piles using DDS technology is higher than CFA piles. The results obtained served to recommend this technology for use at the Asyltas construction site. The results of the axial compression loading tests performed in soft to firm or stiff clays demonstrated the suitability of DDS technology pile foundations. The results of the loading testing program confirmed that the DDS bored pile is a viable deep pile foundation option for the construction site in Kazakhstan and demonstrated their advantages. The results of the static load tests were satisfactory, as the maximum test load on the pile was 1080 kN. The settlement was 27 mm. These investigations are important for the understanding of soil-pile interaction on the problematical soft soils ground of by different technologies (DDS and CFA) in Astana, Kazakhstan.

Acknowledgment

The authors would like to thank KGS LLP Astana, Kazakhstan for facilitating the field test program at their construction site.

This research has been funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP13268718).

References

1. Decourt, L. Behaviour of a CFA Pile in a Lateric Clay// Proceedings of the 4th International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles // BAP IV. Ghent, Belgium, 1993. - pp. 301-308.
2. Van Impe W. F. Considerations on the auger pile design // 1st International Geotechnical Seminar: Deep Foundations on Bored and Auger Piles. – Chent, 1988. - 27 p.
3. Bazarbayev D.O., Researching of bored FDP pile in a problematical soil ground // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY (Ph.D.) - Астана: ЕНУ им Л.Н. Гумилева, 2009. – 82с.
4. Rad S.H., Ghareh S., Eslami A. Experimental and field studies on the behavior of drilled displacement piles // Innovative Infrastructure Solutions 6, №188 – Springer Nature Switzerland, 2021. – P. 1-11.doi.org/10.1007/s41062-021-00557-2.
5. Zhussupbekov A., Omarov A., Shakirova N., and Razueva D., Complex analysis of bored piles on LRT construction site in Astana. Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 49, 2020, pp.461–471.
6. Basu P., Prezzi M., Basu D. Drilled Displacement Piles – Current Practice and Design // DFI Journal The Journal of the Deep Foundations Institute . Hawthorne, USA, 2010. – P. 3-20.
7. Omarov A., Kuderin M., Zhussupbekov A., Kaliakin N., and Iskakov S., Vibration measurements at a new monument in Nursultan city. International Journal of GEOMATE, Vol. 21, Issue 85, 2021, pp.24–31
8. Zhussupbekov, A., Bazarbayev, D., Matsumoto, T. Analysis of the Static Test of Boring Piles Through FDP (Full Displacement Pile) Technology // L. Gumilev atyndagy Euraziya ylytyk universitetinin HABARSHYSY. – Astana, Kazakhstan, 2013. – B. 4. – URL: <http://dspace.enu.kz/handle/data/9762>. (application date 14.06.2013).

9. Zhukenova Gyulnara Abaeevna, Work of foundations at influence horizontal and step deformations of the soil bases // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY (Ph.D.) - Астана: ЕНУ им Л.Н. Гумилева, 2018. – 122с.

10. Zhukenova G.A., Kaldanova B.O. Program of model tests of piles work under horizontal deformations. //Proceeding of the International scientific-practical conference «Science, technical regulation and engineering in construction: condition, prospects», 2016, P.265-267

11. Dhanya, J.S., Banerjee, S., Boominathan, A., Scaled model test on cyclic response of footing on geotechnical seismic isolation layer // Smart Geotechnics for Smart Societies, 2023, pp. 784–788

12. SNiP RK 5.01-03-2002, Pile foundations, Kazakhstan Standard, KazGor, 2002, pp.57-61.

Ығыстыру технологиясы бойынша жасалған бұрғыланып толтырылатын қадалардың лабораториялық және далалық сынақтарын зерттеу

А.Ж. Жусупбеков^{1,2}, Д.В. Чанг³, Дж.С. Дания¹, А.Б. Исакулов^{1*}, С.Б. Искаков¹

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Мәскеу мемлекеттік құрылыс университеті, Мәскеу, Қазақстан

³Тамканг университеті, Нью-Тайбэй, Тайвань

Аннотация. Дәстүрлі қадалармен салыстырғанда, ығыстыру технологиясы бойынша (Drilled Displacement System ары қарай DDS) бұрғыланып толтырылатын қадалармен үздіксіз шнек (Continuous Flight Auger ары қарай CFA) технологиясы бойынша жасалған бұрғыланып толтырылатын қадалар көтеру қабілетімен, жылдам орнату және бүлінудің аз қалыптасуы тұрғысынан артықшылықтарға ие. Бұл мақалада көлемді стенде Drilled Displacement system (DDS) және Continuous Flight Auger (CFA) технологиялары арқылы салынған модельді қадалардың тәжірибелері сипатталған. Зерттеу үшін диаметрі 20 мм және ұзындығы 300 мм 1/20 масштабтағы модельдік қадалар жасалынды. Модельдік қадалар статикалық жүктемеге ұшырады және тиеу процесінің әр кезеңінде сәйкес мәні алынды. DDS қадалары үшін де, CFA қадалары үшін де «шөгү-жүктеме» графигі талданып, шекті жүк көтергіштігінің бағалау нәтижелері салыстырылды. Зерттеуге сәйкес, DDS қадалары жүк көтергіштігі CFA қадаларынан асып түсті. Сонымен қатар, диаметрі 400 мм және ұзындығы 6 м болатын DDS бұрғыланып толтырылатын қадаларына статикалық жүктемелермен толық ауқымды далалық сынақтар жүргізілді. Далалық жүктемені есептеу кезіндегі сынақ нәтижелері реакциясы модельдік тестілеу нәтижелеріне жақсы сәйкес келеді. Тұтастай алғанда, зерттеу нәтижелері DDS қадаларының сипаттамалары мен өнімділігі туралы пайдалы ақпарат береді, оны әртүрлі топырақ түрлерінде осы қадалардың дизайны мен орнатылуын жақсарту үшін пайдалануға болады.

Кілт сөздер: масштабталған модельді қада, модельді сынақ, көтергіш қабілеті, статикалық жүктемелік сынақ.

Исследование лабораторных и полевых испытаний свай, установленных методом вытеснения

А.Ж. Жусупбеков^{1,2}, Д.В. Чанг³, Дж.С. Дания¹, А.Б. Исакулов^{1*}, С.Б. Искаков¹

¹Евразийский национальный университет имени Гумилева, Астана, Казахстан

²Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация

³Университет Тамканг, Нью-Тайбэй, Тайвань

Аннотация. По сравнению с традиционными свайными системами сваи, изготовленные по технологиям Drilled Displacement System (DDS) и Continuous Flight Auger (CFA), имеют преимущества в виде повышенной несущей способности, более быстрой установки и меньшего образования грунта. В данной статье описываются эксперименты с модельными сваями, построенными с использованием технологий Drilled Displacement System (DDS) и Continuous Flight Auger (CFA) в заполненном грунтом объемном стенде. Для исследования использовались модели свай диаметром 20 мм и длиной 300 мм в масштабе 1/20. Модельные сваи подвергаются статическому нагружению, и на каждом этапе процесса нагружения измеряются соответствующие перемещения. Для свай

DDS и CFA было проведено сравнение результатов анализа графика «осадка-нагрузка» и оценок предельной несущей способности. Согласно результатам исследования, сваи DDS превосходят сваи CFA по несущей способности. Кроме того, были проведены натурные испытания статическими нагрузками свай, пробуренных по технологии DDS, диаметром 400 мм и длиной 6 м. Реакция нагрузок при натурных испытаниях хорошо согласуется с модельными испытаниями. В целом, результаты исследования дают глубокую информацию о поведении и характеристиках свай DDS, которая может быть использована для улучшения проектирования и установки этих свай в различных типах грунтов.

Ключевые слова: испытания на масштабной модели, модельные сваи, несущая способность, испытание статической нагрузкой

References

1. Decourt, L. Behaviour of a CFA Pile in a Lateric Clay// Proceedings of the 4th International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles // BAP IV. Ghent, Belgium, 1993. - pp. 301-308.
2. Van Impe W. F. Considerations on the auger pile design // 1st International Geotechnical Seminar: Deep Foundations on Bored and Auger Piles. – Chent, 1988. - 27 p.
3. Bazarbayev D.O., Researching of bored FDP pile in a problematical soil ground // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY (Ph.D.) - Астана: ЕНУ им Л.Н. Гумилева, 2009. – 82с.
4. Rad S.H., Ghareh S., Eslami A. Experimental and field studies on the behavior of drilled displacement piles // Innovative Infrastructure Solutions 6, №188 – Springer Nature Switzerland, 2021. – P. 1-11.doi.org/10.1007/s41062-021-00557-2.
5. Zhussupbekov A., Omarov A., Shakirova N., and Razueva D., Complex analysis of bored piles on LRT construction site in Astana. Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 49, 2020, pp.461–471.
6. Basu P., Prezzi M., Basu D. Drilled Displacement Piles – Current Practice and Design // DFI Journal The Journal of the Deep Foundations Institute . Hawthorne, USA, 2010. – P. 3-20.
7. Omarov A., Kuderin M., Zhussupbekov A., Kaliakin N., and Iskakov S., Vibration measurements at a new monument in Nursultan city. International Journal of GEOMATE, Vol. 21, Issue 85, 2021, pp.24–31
8. Zhussupbekov, A., Bazarbayev, D., Matsumoto, T. Analysis of the Static Test of Boring Piles Through FDP (Full Displacement Pile) Technology // L. Gumilev atyndagy Euraziya ylttyk universitetinin HABARSHYSY. – Astana, Kazakstan, 2013. – В. 4. – URL: <http://dspace.enu.kz/handle/data/9762>. (application date 14.06.2013).
9. Zhukenova Gyulnara Abaeevna, Work of foundations at influence horizontal and step deformations of the soil bases // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY (Ph.D.) - Астана: ЕНУ им Л.Н. Гумилева, 2018. – 122с.
10. Zhukenova G.A., Kaldanova B.O. Program of model tests of piles work under horizontal deformations. //Proceeding of the International scientific-practical conference «Science, technical regulation and engineering in construction: condition, prospects», 2016, P.265-267
11. Dhanya, J.S., Banerjee, S., Boominathan, A., Scaled model test on cyclic response of footing on geotechnical seismic isolation layer // Smart Geotechnics for Smart Societies, 2023, pp. 784–788
12. SNiP RK 5.01-03-2002, Pile foundations, Kazakhstan Standard, KazGor, 2002, pp.57-61.

Сведения об авторах:

Рус.:

А.Ж. Жусупбеков – д.т.н., исследователь кафедры «Строительство» ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, +7-701-511-83-82, E-mail: astana-geostroi@mail.ru

Д.В. Чанг – PhD, профессор кафедры «Гражданское строительство» Тамкангского университета, E-mail: [dwchang@mail.tku.edu.tw](mailto:dwachang@mail.tku.edu.tw)

Дхануа J.S. – PhD, постдокторант кафедры «Строительство» ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, +7-778-066-92-75, E-mail: dhanyacivil@gmail.com

Исакулов А.Б. – докторант кафедры «Строительство» Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахста, +7-707-327-43-67, E-mail: issakulov.abilkhair@gmail.com

Искаков С.Б. – докторант кафедры «Строительство» Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахста, +7-706-423-00-80, E-mail: sultan.iskak@mail.ru

Каз.:

А.Ж. Жусупбеков – т.ғ.д., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының зерттеушісі, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан, +7-701-511-83-82, E-mail: astana-geostroi@mail.ru

Д.В. Чанг – PhD, Тамканг университетінің «Азаматтық құрылыс» кафедрасының профессоры, E-mail: dwchang@mail.tku.edu.tw

Дж. С. Дания – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының постдокторанты, +7-778-066-92-75, E-mail: dhanyacivil@gmail.com

Исакулов А.Б. – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының докторанты, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан, +7-707-327-43-67, E-mail: issakulov.abilkhair@gmail.com

Искаков С.Б. – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының докторанты, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан, +7-706-42300 80, E-mail: sultan.iskak@mail.ru

Англ.:

A.Zh. Zhussupbekov – Doctor of Technical Sciences, Researcher L.N. Gumilyov ENU Department of “Construction”, Kazhymukan str., 13, Astana, Kazakhstan, +7-701-511-83-82, E-mail: astana-geostroi@mail.ru

D.W. Chang – PhD, Professor Tamkang University Department of Civil Engineering, E-mail: dwchang@mail.tku.edu.tw

Dhanya J.S. – PhD, postdoctoral Student Department of “Construction”, L.N. Gumilev ENU, Kazhymukan str., 13, Astana, Kazakhstan, +7-778-066-92-75, E-mail: dhanyacivil@gmail.com

Isakulov A.B. – PhD Student of the Department of “Construction”, L. N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan str., 13, Astana, Kazakhsta, +7-707-327-43-67, E-mail: issakulov.abilkhair@gmail.com

Iskakov S.B. - PhD Student L. N. Gumilyov Eurasian National University Department of “Construction”, Kazhymukan str., 13, Astana, Kazakhstan, +7-706-423-00-80, E-mail: sultan.iskak@mail.ru

Aliya Abdiraman^{1*}, Laura Aldasheva¹, Bekzhan Darmenov¹,
Taalaibek Omurzakov¹, Alma Zakirova¹

¹Astana IT University, Astana, Kazakhstan
E-mail: aliya.abdiraman@astanait.edu.kz

Comparative analysis of application platform for learning cybersecurity through the Capturing the Flag Competitions

Abstract. *Cyberpolygon is a platform designed to train students in the field of cybersecurity in order to obtain professional skills. In this regard, Astana IT University created a project aiming at the development of a cyberpolygon with various vectors for the exploitation of cyberattacks. This project allows more than ten students to work on the platform at the same time and gain Red/Blue teaming skills. This article provides a methodology for the development of the Cyberpolygon platform. Further, through the Cyberpolygon, experimental training was conducted among the students of the second year of study at Astana IT University, which allows for solving real problems through the cyberpolygon. The performance testing and study of the platform were carried out by the methods of comparative analysis.*

Keywords: *cyberpolygon, vulnerabilities, red teaming, blue teaming, educational platform, cyber-attacks, cybersecurity training, practical skills.*

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-49-57

1. Introduction

Today, ensuring the information security of the enterprise infrastructure is the main task of a specialist in the field of information security (IS). Indeed, in order to ensure and maintain the cybersecurity of an enterprise at a high level, it shows the level of awareness of information security employees. In this regard, students need not only theoretical skills but also practical skills in detecting new information security threats. Therefore, the main goal of the development of such platforms is to bring the level of education of students in the field of information security from lectures and laboratory work to competitions between the “red” and “blue” teams. One of the novel methods in training students within the educational program “Cybersecurity” is the use of specialized cyber training platforms, where students can not only analyze security measures by scanning IT assets for possible vulnerabilities but also bring the attack to its logical conclusion according to a pre-compiled scenario written by teachers.

The significance of this research lies in the increasing significance of cybersecurity in today’s digital world. With the ongoing adoption of digital technologies, the complexity of cyber threats and attacks has risen, creating substantial risks for governments, organizations, and individuals. As a result, there is an urgent requirement to cultivate proficient cybersecurity experts who can comprehend, prevent, and minimize these threats.

It is important to note that the number of cybercrimes is increasing every year. For example, according to analysts at Webtotem, by 2025, the cost of covering cyberattacks will reach about \$10.3 trillion. Today, small and medium-sized businesses are most susceptible to cyberattacks due to the lack of specialists in the field of information security [1]. Figure 1 clearly shows the statistics of the Computer Incident Response Service of JSC “Public Service” in the period from July to September of the current year [2]. According to statistics [2] as shown in the figure 1,

the largest number of cybersecurity threats in Kazakhstan falls on botnets, lack of access to IR, malware, denial of service, unauthorized access and phishing.

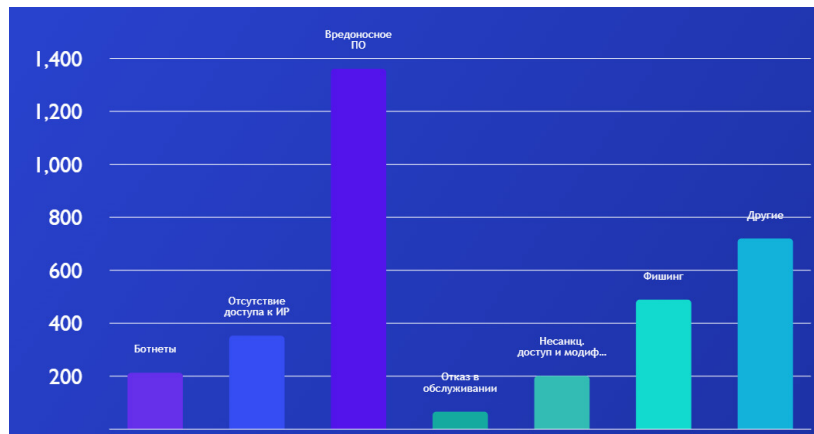


Figure 1. Statistics of incidents in the Republic of Kazakhstan in the period from July to September 2022

The above cyber-attacks most often occur in connection with the transition of many business processes to IoT technologies, therefore, attackers are trying to disable the infrastructure of private and public sector enterprises. Therefore, the best solution to prevent IS threats is to use Cyberpolygons in preparing future information security specialists.

A detailed technical description of the cyberpolygon, a comparative analysis among existing learning platforms, a review of domestic and foreign cyberpolygons, the results of an experimental study evaluating the effectiveness of the developed platform, and a detailed description of the proposed teaching method are presented in the Results and Discussion section.

2. Results and Discussion

During the study, a review of existing cyberpolygons in the country and abroad was carried out. Table 1 presents the existing cyberpolygons.

Table 1. Review of existing cyberpolygons in the country and abroad [3-7]

Name	Provider	Short description of the platform
Ampire	Perspective Monitoring	Ampire cyberpolygon emulates a typical organization, including banks, industrial enterprises, and offices, and the various attack routes that can be taken. The facility comes with a range of network templates, with the option of creating new ones to suit client preferences. The attack scenarios are continually updated based on real-life customer security analysis by Perspective Monitoring. In addition, the SOC model on the platform is based on the company's years-long work with clients.
BI.ZONE Cyber Polygon	BI.ZONE	Sber and BI.ZONE, a member of the Sber ecosystem, organize Cyber Polygon annually with the backing of Interpol and the Cybersecurity Center of the World Economic Forum. The conference offers a blend of virtual sessions, cyber security training for business teams, and informative presentations by industry specialists. High-ranking personnel from global organizations also attend [4].

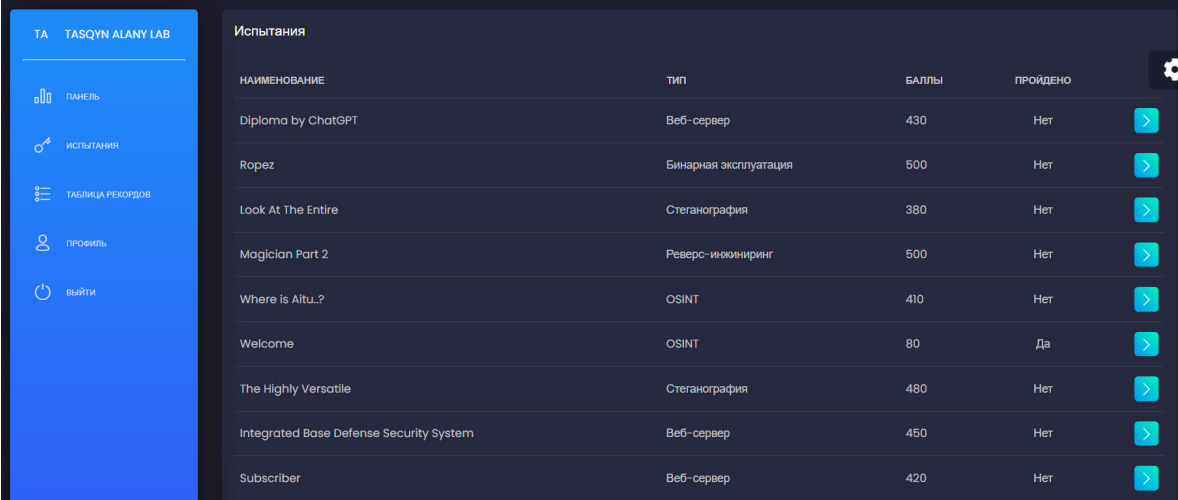
Jet CyberCamp	Jet InfoSystems	The Jet CyberCamp was introduced to the market in September 2021 as an internal development program initially designed for training company employees in areas such as conducting pentests and working in the 1st and 2nd lines of the Jet CSIRT cybersecurity center. The cyberpolygon course encompasses theoretical and practical classes that emphasize the application of acquired skills. The training begins with the sharing of expertise and problem-solving techniques by Jet Infosystems professionals, ranging from pentesting to incident investigations. Cyber students are then exposed to all aspects of cyber threats, including attack preparation by hackers and blocking such attacks. The scenarios used as cyber exercises may involve investigating past attacks or preventing future ones.
The Standoff	Positive Technologies	The initial cyber competition known as the oldest cyberpolygon of Russia began in 2011 as a CTF event held during the Positive Hack Days forum. As the format evolved to address genuine business problems, it transformed into comprehensive cyber studies where the targeted infrastructure was relocated to a simulation space for onlookers and participants to witness the consequences of cyber-attacks, such as causing a train to derail by penetrating the railway control system. In 2016, the first cyber conflict between attackers and defenders took place in a training terrain that replicated essential elements of an entire city's information infrastructure. Over time, the city became a virtual nation that encompassed whole industries instead of just individual firms.
Check Point Cyber Range	CheckPoint	The Cyberpolygon created by Check Point utilizes gamification as a principle to increase the engagement of participants in the learning process. It caters to both the attackers and defenders involved in the confrontation. The training program focuses on identifying and addressing vulnerabilities in various areas such as operating systems, applications, and web applications. Additionally, it includes education on utilizing Check Point solutions to safeguard corporate networks against cyberattacks.

The analysis revealed that there are no cyberpolygons within the educational institution of Kazakhstan. However, in Kazakhstan there is a TSARKA cyberpolygon [8], which is a paid platform for training information security specialists. Likewise, Astana IT University has developed a cyber training ground for training students in practical skills in the field of information security. This platform allows more than 10 students to work on the system simultaneously. The training ground was developed as a web application based on the classic game "capture-the-flag" via bubble.io. In turn, bubble.io is a tool for creating multi-user web applications without code.

In parallel with the technical and software implementation of the test site, a script for demonstrating the assignment for students was also worked out. In order to increase students' enthusiasm, the user interface of the cyberpolygon was developed on the basis of the famous game "Stalker", where the player, completing tasks along the way, will meet hints for finding "flags". The AITU Cyberpolygon interface consists of interconnected components such as challenges, story mode, courses. That is, in the courses part, materials for self-study are provided, in the challenges part, tasks of the easy, middle, hard, insane levels are prepared. Each task, depending on the level of complexity, is evaluated by points. It is worth noting that a student can go to the story mode part after completing the tasks in the challenges part and getting 300 points. In order

to motivate students, an updated leaderboard has been developed, in which students can see their names and the number of points they have scored relative to other participants. Figure 2 shows the user interface of the cyberpolygon «Taskyn alany lab».

The cybertraining platform is a comprehensive, interactive, and engaging learning environment designed specifically for students of Astana IT University and the military department to develop practical cybersecurity skills and foster collaboration among participants. The platform features a range of hands on learning materials, a user-friendly interface, and a modular and scalable architecture, making it a valuable resource for cybersecurity education.



The screenshot shows the user interface of the 'Taskyn alany lab' cybertraining platform. On the left is a blue sidebar with navigation options: 'ТА TASQYN ALANY LAB', 'ПАНЕЛЬ', 'ИСПЫТАНИЯ', 'ТАБЛИЦА РЕКОРДОВ', 'ПРОФИЛЬ', and 'ВЫЙТИ'. The main area is titled 'Испытания' and displays a table of tasks with columns for 'НАИМЕНОВАНИЕ', 'ТИП', 'БАЛЛЫ', and 'ПРОЙДЕНО'. Each row includes a task name, type, score, completion status, and a right arrow icon.

НАИМЕНОВАНИЕ	ТИП	БАЛЛЫ	ПРОЙДЕНО
Diploma by ChatGPT	Веб-сервер	430	Нет
Ropez	Бинарная эксплуатация	500	Нет
Look At The Entire	Стеганография	380	Нет
Magician Part 2	Реверс-инжиниринг	500	Нет
Where is Aituu.?	OSINT	410	Нет
Welcome	OSINT	80	Да
The Highly Versatile	Стеганография	480	Нет
Integrated Base Defense Security System	Веб-сервер	450	Нет
Subscriber	Веб-сервер	420	Нет

Figure 2. Cyberpolygon user interface «Taskyn alany lab»

Key components of the cybertraining platform include:

1. Hands-on Learning Materials: The platform offers a diverse collection of Capture the Flag (CTF) tasks, labs, and simulated attack scenarios, covering various aspects of cybersecurity, such as vulnerability assessment, penetration testing, network security, cryptography, and incident response. These materials cater to different skill levels and learning objectives, providing students with the opportunity to apply theoretical knowledge in practical settings.

2. User-friendly Interface: The platform's interface is designed to be intuitive, interactive, and visually appealing, ensuring a smooth and engaging user experience. Navigation and access to learning materials are streamlined, allowing students to quickly find and participate in tasks and simulations that match their interests and skill levels.

3. Collaboration and Knowledge Sharing: The platform fosters a sense of community among students by encouraging interaction, collaboration, and knowledge sharing. It includes features such as chatrooms, forums, and leaderboards that allow students to communicate, discuss problems, and learn from one another, enhancing their learning experience and preparing them for teamwork in their future careers.

4. Integration with Existing Curriculum: The cybertraining platform is designed to complement and enhance the traditional classroom-based cybersecurity education at Astana IT University and the military department. By integrating the platform with the existing curriculum, students can reinforce their theoretical understanding through hands-on practice, leading to a more comprehensive grasp of cybersecurity concepts and techniques.

5. Scalable and Modular Architecture: The platform's architecture is designed to be scalable and modular, allowing for future expansion and customization as the cybersecurity landscape evolves. New techniques, technologies, and threats can be easily incorporated into the platform, ensuring that it remains relevant and effective in preparing students for real-world cybersecurity challenges.

6. Assessment and Evaluation: The cybertraining platform includes mechanisms for tracking students' progress and performance, enabling educators to assess the effectiveness of the training and identify areas for improvement. Students can also receive feedback and recommendations to help them refine their skills and address any weaknesses. According to Miller and Smith in their article "Cyber Polygons: A New Paradigm for Cyber Security Training and Exercise" published in the Journal of Cybersecurity, they introduce the concept of 'cyber polygons' as a new approach to cybersecurity training. This paradigm emphasizes the importance of practical, scenario-based training exercises that mimic real-world cyber threats, thereby providing learners with a more realistic and engaging training experience.

Depending on the tasks and specifics, the cyberpolygon infrastructure usually includes some application software / services that provide the main business processes. It can also be not only software, but also specialized hardware solutions. The maximum proximity to the real infrastructure ensures the quality of the cyberpolygon, but increases its cost. Companies must maintain a balance in this matter.

As for the evaluation of the effectiveness and performance of the use of the cyberpolygon in the process of teaching students, a study was conducted. This study involved 66 students who were divided into two groups. The first group consisted of 29 students who completed the tasks of the cyberpolygon with materials in the courses tab. In turn, the second group consisted of 37 students who completed tasks with the help of books [9-11]. To conduct an experimental study, the tasks presented in Table 2 were selected.

Table 2. List of tasks

Task	Level of difficulty	Description of the task
Stalin For Time	Hard	This quest is about winning World War II and one small event during that. This is called OSINT, and in the course of the decision, we must come to the conclusion that Eugene Holdey stole the watch as a trophy
Cable Castaways	hard	This task was focused more on programming. It was necessary to write a script that would help untangle the wires and after that they should have received a picture with a flag
Long story	middle	This is another OSINT task with elements of forensics. The participant needed to solve various riddles and solve ciphers in one stage in order to get a flag at the end
Stalker	Easy	This task is related to the game Stalker, which is due out this year. And the participants had to learn and write down
Awesome music	Easy	Participants are given regular music and with the help of steganography, they had to find a flag that was hidden in the music itself

According to Table 2, tasks of the hard level were estimated at 300 points, middle - 150 points, easy - 100 points. The study revealed that the students of the first group perform tasks faster than the second group. Here, Table 3 shows the login and points earned in the student platform. It is worth noting that students used different logins to register in the system..

Table 3. Student results

Number of students	Points scored
1	900
1	800
3	750
2	350

3	300
12	250
7	150
8	100
30	0

As can be seen from the table of towers, 29 students who used the cyberpolygon materials completed the tasks with a minimum score of 250. Students who completed the tasks with the help of books [9-11] scored a maximum score of 150 of the easy level. In turn, the students who used the materials of the cyberpolygon coped with the tasks of all levels. The histogram shown in Figure 3 clearly shows the results of an experimental study.

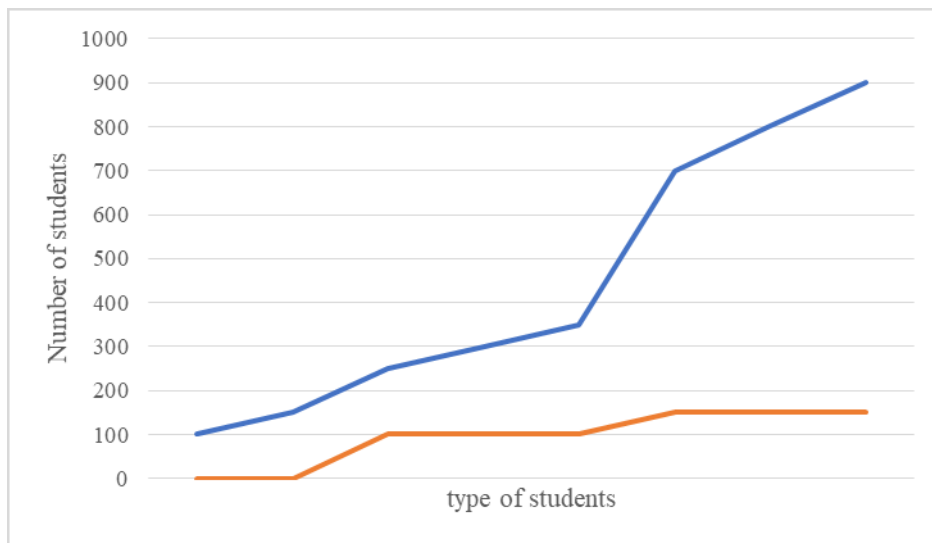


Figure 3. Ranking the results by points and materials used

It is worth noting that the term “cyberpolygon” is gaining more and more popularity as a platform for conducting exercises for information security specialists. The main principle of working on such platforms is built on the competitive effect between teams. The cyberpolygon of Astana IT University is built based on the Stalker game of the same name.

3. Conclusion

The purpose of this article is to study and create a full-featured web application using JavaScript capabilities in PERN stack with Bubble.io and the development of a prototype based on it. The project consists of 3 huge parts, each technology required a significant amount of time for detailed study and implementation of the idea. The basic concepts and main advantages of using the stack are discussed in detail, followed by a detailed explanation of the implementation process. The prototype created was an application for teaching students on the way to becoming real hackers. The assigned tasks were strictly fulfilled. On the way to the release of this web platform, a lot of new material was studied, and various programming languages were used, such as JS, C++, Python, Java, PHP etc. It may seem that this is bad when a project has so much diverse content, but there is an easy explanation behind it. The fact is that the web application is fully written in JS (ReactJS+NodeJS), as well as on bubble.io, the rest of the programming languages were used on virtual machines or on a docker configured in our physical server on the Windows operating system.

References

- 1) Johnatan B. Analysis cyberpolygon. [Electronic resource]. Available at: <https://cybersec.kz/solutions/polygon> (Accessed: 15.01.2023).
- 2) State technical service annual report. [Electronic resource]. Available at: <https://sts.kz/achievements-srki/> (Accessed: 15.03.2023).
- 3) Cyberpolygon Ampire. [Electronic resource]. Available at: <https://www.amonitoring.ru/product/ampire/> (Accessed: 15.03.2023).
- 4) BI.ZONE. (n.d.). Cyber Polygon. Cyber polygon. [Electronic resource]. Available at: <https://cyberpolygon.com/ru/> (Accessed: 15.08.2023).
- 5) Jet CyberCamp 2022. (n.d.). CyberCamp. [Electronic resource]. Available at: <https://cybercamp.su/> (Accessed: 15.08.2023).
- 6) Positive Technologies. (n.d.). The Standoff recap. [Electronic resource]. Available at: <https://www.ptsecurity.com/ww-en/about/events> (Accessed: 15.08.2023).
- 7) CheckPoint. (n.d.). Cyber Range. [Electronic resource]. Available at: <https://training-certifications.checkpoint.com/#/courses/Cyber%20Range%20Cloud-%20BLUE> (Accessed: 15.08.2023).
- 8) The results of the second-level web resources of the Republic of Kazakhstan for analyzing the security of banks. [Electronic resource]. Available at: <https://cert.kz/files/reports/kz-banks-security-report-webtotem-2021.pdf> (Accessed: 15.08.2023).
- 9) Scott N. Schober, Craig W. Schober Senior Cyber: Best Security Practices for Your Golden Years, ScottSchober.com Publishing - 2021. 234 p.
- 10) Nitul Dutta, Nilesh Jadav, Sudeep Tanwar, Hiren Kumar Deva Sarma, Emil Pricop Cyber Security: Issues and Current Trends (Studies in Computational Intelligence, 995) 1st ed. 2022.
- 11) Jeffrey Wayne Bennett Insider's Guide to Security Clearances: Get the Clearance and Land the Job (Security Clearances and Cleared Defense Contractors)

Сравнительный анализ применения платформы киберполигона для обучения в области кибербезопасности с помощью соревнований «Захват флага»

Алия Абдираман^{1*}, Лаура Алдашева¹, Бекжан Дарменов¹, Таалайбек Омурзаков¹,
Алма Закирова¹

¹ Astana IT University, Астана, Казахстан

Аннотация. Киберполигон – это платформа, предназначенная для обучения студентов в области кибербезопасности с целью получения профессиональных навыков. В связи с этим Astana I создал проект, направленный на разработку киберполигона с различными векторами использования кибератак. Этот проект позволяет более чем десяти студентам работать на платформе одновременно и приобретать навыки работы в команде Red/Blue. В этой статье представлена методология разработки платформы Cyberpolygon. Далее, в рамках Киберполигона было проведено экспериментальное обучение среди студентов второго года обучения в Astana IT University, которое позволяет решать реальные задачи с помощью киберполигона. Тестирование производительности и изучение платформы проводились методами сравнительного анализа.

Ключевые слова: киберполигон, уязвимости, redteam, blueteam, образовательная платформа, кибератаки, обучение кибербезопасности, практические навыки.

«Туды түсіру» жарысы арқылы Киберқауіпсіздік бойынша оқыту үшін киберполигон платформасының қолданылуын салыстырмалы талдау

Әлия Әбдіраман^{1*}, Лаура Алдашева¹, Бекжан Дарменов¹, Таалайбек Омурзаков¹,
Алма Закирова¹

¹Astana IT University, Астана, Қазақстан

Аннотация. Киберполигон – бұл студенттерге кәсіби дағдыларды қалыптастыру мақсатында Киберқауіпсіздік бойынша білім беруге арналған платформа. Осыған байланысты Astana I кибершабуылдарды пайдаланудың әртүрлі векторлары бар киберполигонды әзірлеуге бағытталған жоба құрды. Бұл жоба оннан астам студенттерге платформада бір уақытта жұмыс істеуге және Red/Blue командасында жұмыс істеу дағдыларын алуға мүмкіндік береді. Бұл мақалада cyberpolygon платформасын әзірлеу әдістемесі берілген. Әрі қарай, Киберполигон шеңберінде Astana IT University-де оқудың екінші жылының студенттері арасында эксперименттік оқыту өткізілді, бұл киберполигонның көмегімен нақты міндеттерді шешуге мүмкіндік береді. Өнімділікті тексеру және платформаны зерттеу салыстырмалы талдау әдістерімен жүргізілді.

Түйін сөздер: киберполигон, осалдықтар, қызыл бірлестік, көк бірлестік, білім беру платформасы, кибершабуылдар, киберқауіпсіздікке үйрету, практикалық дағдылар.

Сведения об авторах:

Рус.:

Әбдіраман Ә.С. – магистр, сеньор-лектор, Департамент интеллектуальных систем и кибербезопасности, Astana IT University, Проспект Мангилик ел 51, Астана, Казахстан, aliya.abdiraman@astanait.edu.kz

Алдашева Л.С. – кандидат технических наук, доцент, Департамент интеллектуальных систем и кибербезопасности, Astana IT University, Проспект Мангилик ел 51, Астана, Казахстан, laura.aldasheva@astanait.edu.kz

Дарменов Б. – студент, Департамент интеллектуальных систем и кибербезопасности, Astana IT University, Проспект Мангилик ел 51, Астана, Казахстан, 202199@astanait.edu.kz

Омурзаков Т.И. – Начальник цикла «Кибербезопасность» Военной кафедры, Astana IT University, Мәңгілік ел көшесі 51, Астана, Қазақстан, omurzakov.67@mail.ru

Закирова А.Б. – кандидат педагогических наук, доцент, Департамент интеллектуальных систем и кибербезопасности, Astana IT University, Проспект Мангилик ел 51, Астана, Казахстан, a.zakirova@astanait.edu.kz

Каз.:

Әбдіраман Ә.С. – магистр, аға оқытушы, Зияткерлік жүйелер мен киберқауіпсіздік Департаменті, Astana IT University, Мәңгілік ел көшесі 51, Астана, Қазақстан, aliya.abdiraman@astanait.edu.kz

Алдашева Л.С. – техникалық ғылымдар кандидаты, доцент, Зияткерлік жүйелер мен киберқауіпсіздік Департаменті, Astana IT University, Мәңгілік ел көшесі 51, Астана, Қазақстан, laura.aldasheva@astanait.edu.kz

Дарменов Б. – студент, Зияткерлік жүйелер мен киберқауіпсіздік Департаменті, Astana IT University, Мәңгілік ел көшесі 51, Астана, Қазақстан, 202199@astanait.edu.kz

Омурзаков Т.И. – Әскери кафедраның «Киберқауіпсіздік» циклі басшысы, Astana IT University, Мәңгілік ел көшесі 51, Астана, Қазақстан, omurzakov.67@mail.ru

Закирова А.Б. – педагогика ғылымдарының кандидаты, доцент, Зияткерлік жүйелер мен киберқауіпсіздік Департаменті, Astana IT University, Мәңгілік ел көшесі 51, Астана, Қазақстан, a.zakirova@astanait.edu.kz

Англ.:

Abdiraman A.S. – master, senior lecturer, Department of Intelligent Systems and Cybersecurity, Astana IT University, Mangilik Yel Avenue 51, aliya.abdiraman@astanait.edu.kz

Aldasheva L.S. – candidate of technical sciences, assistant professor, Department of Intelligent Systems and Cybersecurity, Astana IT University, Mangilik Yel Avenue 51, laura.aldasheva@astanait.edu.kz

Darmenov B. – student, Department of Intelligent Systems and Cybersecurity, Astana IT University, Mangilik yel avenue 51, 202199@astanait.edu.kz

Omurzakov T.I. – Head of the cycle “Cybersecurity” of the Military Department, Astana IT University, Mangilik Yel Avenue 51, omurzakov.67@mail.ru

Zakirova A.B. – Candidate of Pedagogical Sciences, assistant professor, Department of Intelligent Systems and Cybersecurity, Astana IT University, Mangilik Yel Avenue 51, a.zakirova@astanait.edu.kz

V. Polugari^{1*}, N.N. Singh¹, K.S. Rao¹,
N.M.A. Krishnan¹

¹Dept. of Civil Engineering, IIT Delhi, New Delhi-110016, India,
E-mail: ¹narendranadhdatta1995@gmail.com, ²nirbhay.mnnit@gmail.com, ³raoks@civil.iitd.ac.in, ⁴krishnan@civil.iitd.ac.in

Charging Effect on Soil Particles in Scanning Electron Microscopy (SEM)

Abstract. Scanning Electron Microscope (SEM), a tool for material characterization reveals information about surface, subsurface, composition, and defects in bulk materials. The objective of the article is to understand the parameters of soil particles on charging effect in SEM. The SEM images were obtained on colluvium soil particles by varying particle size (A=2-1mm, B=0.6-0.425mm, C=0.3-0.212mm, and D= <0.075mm), and number of conductive coatings (uncoated, single, and double). The article proposes a method for the preparation of soil particles for SEM imaging and is applicable for all types of soil particles. The study revealed that the soil particles of size greater than 212 μ m require double conductive coating and less than 75 μ m requires single coating to avoid charging effect. The sharpness of the image is questionable of soil particles greater than 212 μ m at 10000 \times magnification and above, after double conductive coatings.

Key Words: Scanning Electron Microscopy, Soil Particles, and Charging Effect

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-58-66

1 Introduction

The study of surface microstructure of soil particles gives insights of the sedimentary history of the soil particles (Vos et al., 2014). The applications of SEM in soil mechanics are to study grain outline: roundness or angularity, transportation mode, distance and time travelled, and size (Park et al., 2022), fabric orientation (Song et al., 2022), forensic analysis of soil and sediment traces (Jafery et al., 2022), trace of heavy metals in soil (Burdalski et al., 2022), and morphological investigations up to a scales of micrometer to nanometer (Islam et al., 2022). The wide applications of SEM imaging in soil mechanics have attracted attention among researchers. The sample preparation plays a major role in the SEM imaging to acquire high quality morphological images. The main problem in the SEM imaging is the charging effect on the sample while imaging. The image that is darker than background is called positive charging and brighter is called negative charging. The most common in soil particles imaging in SEM is negative charging.

The charging effect can be reduced by two methods, one is by conductive coating to a thickness of a few hundreds of angstroms. This method allows the sample surface with a thick coating cause not able to capture real fine surface morphology. The second one is by lowering the energy of the primary electrons. This method allows the low energy electrons on the surface of the sample results poor quality of images were recorded with less intensity of electrons (Ichinokawa et al., 1974). The charging effect is also used for the characterization of conductor-insulator composite materials. Insulating materials with thin films, thin films with mask, and overlay marks (Zhang et al., 2004). In soil mechanics, the application of charged micrographs is not used, and it will give only particle size but, not the morphology for microstructure analysis.

However, the article is not included the direction of specimen charging relevant to the beam energy interval (Grella et al., 2004), Shrinking effect (Flatabø et al., 2017), accelerating voltage (Chetana et al., 2022), working distance (Bayazid et al., 2020), and scanning time and inclination of the beam (Ichinokawa et al., 1974). The article presents the preparation of soil particles for SEM imaging and the effect of particle size, and number of conductive coatings on charging effect.

2 Materials and methods

2.1 Sample Preparation

SEM images were obtained on colluvium soil sample collected from Banihal, Jammu and Kashmir, India (Figure 1a, b). The specific gravity (G) of the soil is 2.74. The soil is classified as “clay with intermediate plasticity (CI)” with the gravel (1.16%), sand (7.46%), silt (65%), and clay (25%) (IS1498, 2007). The soil particles were prepared by soaking the oven dry (105°) soil sample of 0.5 kg for 24 hours (Figure 1c). The soaked soil sample was subjected to wet sieving through 75 microns sieve (Figure 1d). The soil sample retained on 75 microns was subjected to oven dry for 24 hours and subjected to dry sieving analysis as per Indian standard code (IS2720-4, 1985) (Figure 1e). The soil particles were collected at different sizes of sieve are 4.75, 2, 1, 0.6, 0.425, 0.3, 0.212, 0.150, 0.075 mm, and pan (Figure 1f).

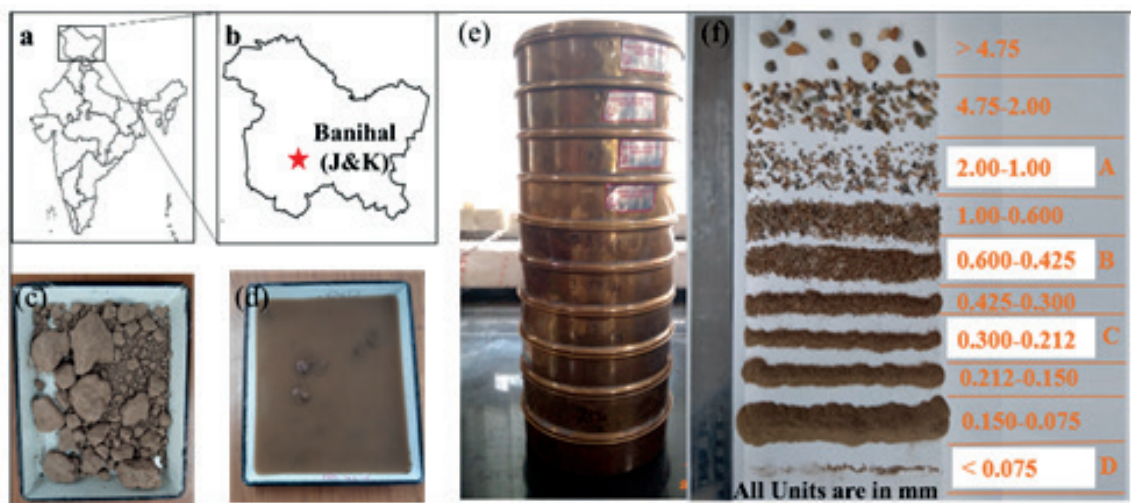


Figure 1. Colluvium soil sample, a) India, b) Location of Banihal, Jammu and Kashmir, c) Collected soil sample, d) Soaked sample for wet sieving, e) Set of sieves for dry sieving, and f) Distribution of soil particles and representation of A, B, C, and D particle size ranges.

The soil particles passing through 2 mm and retained on 1 mm are considered as particle size A and particle size B, C, and D, are of the size of 0.6-0.425 mm, 0.3-0.212 mm, and less than 0.075mm, respectively (Figure 1f). The double stick carbon tape was placed on the SEM stub and dry soil particles were placed on the carbon tape. Stiff paper was used to distribute the particles over the carbon tape and the SEM stub with soil particles was subjected to imaging.

The maximum care was taken to distribute soil particles over large scanning area and subjected to gold sputter conductive coating. After coating, the stub was placed on specimen stage and closed the chamber, subjected to vacuum. The particles of size A, B, C, and D are placed on the SEM stub, subjected to uncoated, single, and double gold sputter coating and ready for imaging.

2.2 SEM configuration

Generally, the SEM on secondary electron mode is operated to get the surface images. The ZEISS EVO50 at the Indian Institute of Technology Delhi (IITD), India was used in the present study (Figure 2). The specifications of ZEISS EVO50 are resolution: 2 nm at 30 kV, acceleration voltage: 0.2 to 30kV, magnification: $5\times$ to 1,000,000 \times , field of view: 6 mm at the analytical working distance (AWD), general sample size: less than 10 mm in any direction (height or diameter), vacuum pressure: -6 millibars, and detectors: secondary electron (SE)-Everhart Thornley (ET), SE in Variable-pressure secondary electron detector (VPSE), backscattered electron detector (BSD) in all modes-quadrant semiconductor diode (Carl, 2003).

Figure 2a, the instrument consists of main unit, control system, and Personal Computer (PC). The main unit consist of vacuum chamber, specimen holder (X-Y-Z tilt rotation stage (Figure 2b), and the filament of Tungsten for the generation and acceleration of electrons. High purity Emitech/Quorum sputter coater of model K550X was used in the study (Figure 2c). The sputter emits gold (60mm diameter \times 0.1mm Thick: Gold fitted as Standard) spherical particles for coating of thickness 10 ± 2 nm/minute at a vacuum gauge range of 1×10^{-4} millibars (Quorumtech, 2007). The present study taken the sputter time as 1.5 minutes and an approximate thickness of 15 ± 2 nm surface coating.

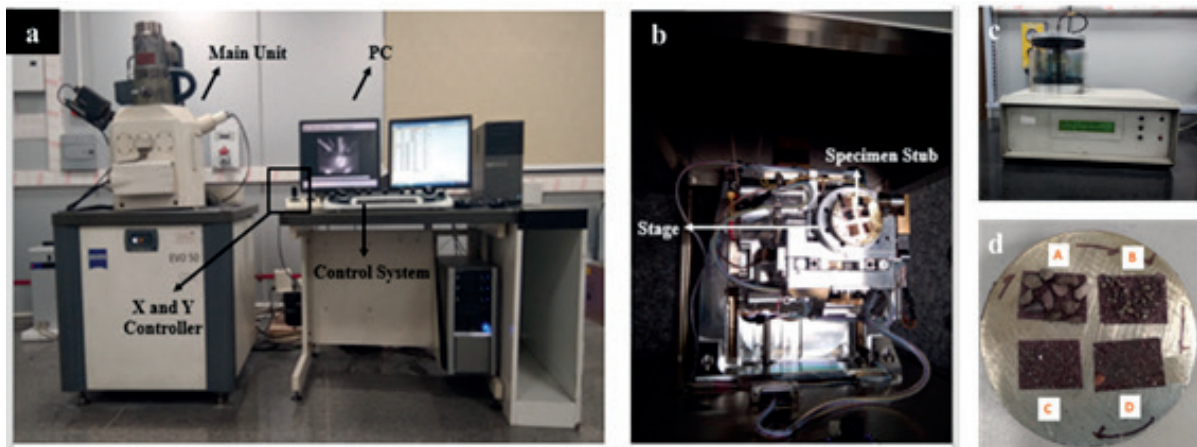


Figure 2. Scanning Electron Microscope Central Facility at IIT Delhi, a) External view of ZEISS EVO 50 SEM, b) Specimen stub assembly chamber (internal), c) Emitech/Quorum sputter gold coater of model K550X, and d) Prepared SEM stub with soil particles after conductive coating.

The prepared SEM stub (Figure 2d) placed on the stage for scanning and closed the chamber. The chamber is filled with vacuum at a pressure of -6 millibars. After successful completion of vacuum, the incident beam is on to the sample to capture the images through personal computer (PC). The images were collected at different locations of the sample by adjusting the X and Y stage knob. The captured images were exported to save the images as tag image file format (tiff).

2.3 Testing Methodology

The SEM images were obtained on soil particles of parameters considered are varying size (A, B, C, and D), and number of conductive coatings (uncoated, single, and double). All the images were taken at an accelerating voltage of 20 KV. The soil particles of size A, B, C, and D are placed on the SEM stub having four slots (Figure 2d). The stub without conductive coating was taken for imaging, after that, single and double conductive coatings were applied on the same soil particles. Throughout the imaging the soil particles are the same of A, B, C, and D but the number of conductive coatings were changed.

3 Results and Discussions

3.1 Effect of Particle Size

The soil sample consists of distribution of different sizes of particles due to the weathering. The distribution of particles tells us about the type of weathering conditions and the type of forces acted on it through morphological studies. The environment of the soil sample greatly affects the particle size distribution. The alluvium, aeoline, lacustrine, marine, and colluvium soil types exhibit different types of microstructures of particles due to their environment is different. Within one type of soil sample the distribution of soil particles sizes and their microstructure are very important for morphological studies to investigate micromechanical behavior of soil particles. The uncoated soil particles of size A, B, C, and D were subjected to SEM at a constant magnification of 65× times. From Figure 3, with the increase in particle size, charging effect is increased. The surface potential (Vs) of soil particles increases and causes charging effect (Ichinokawa et al., 1974). The charged surface areas and particles were marked on images (Figure 3).

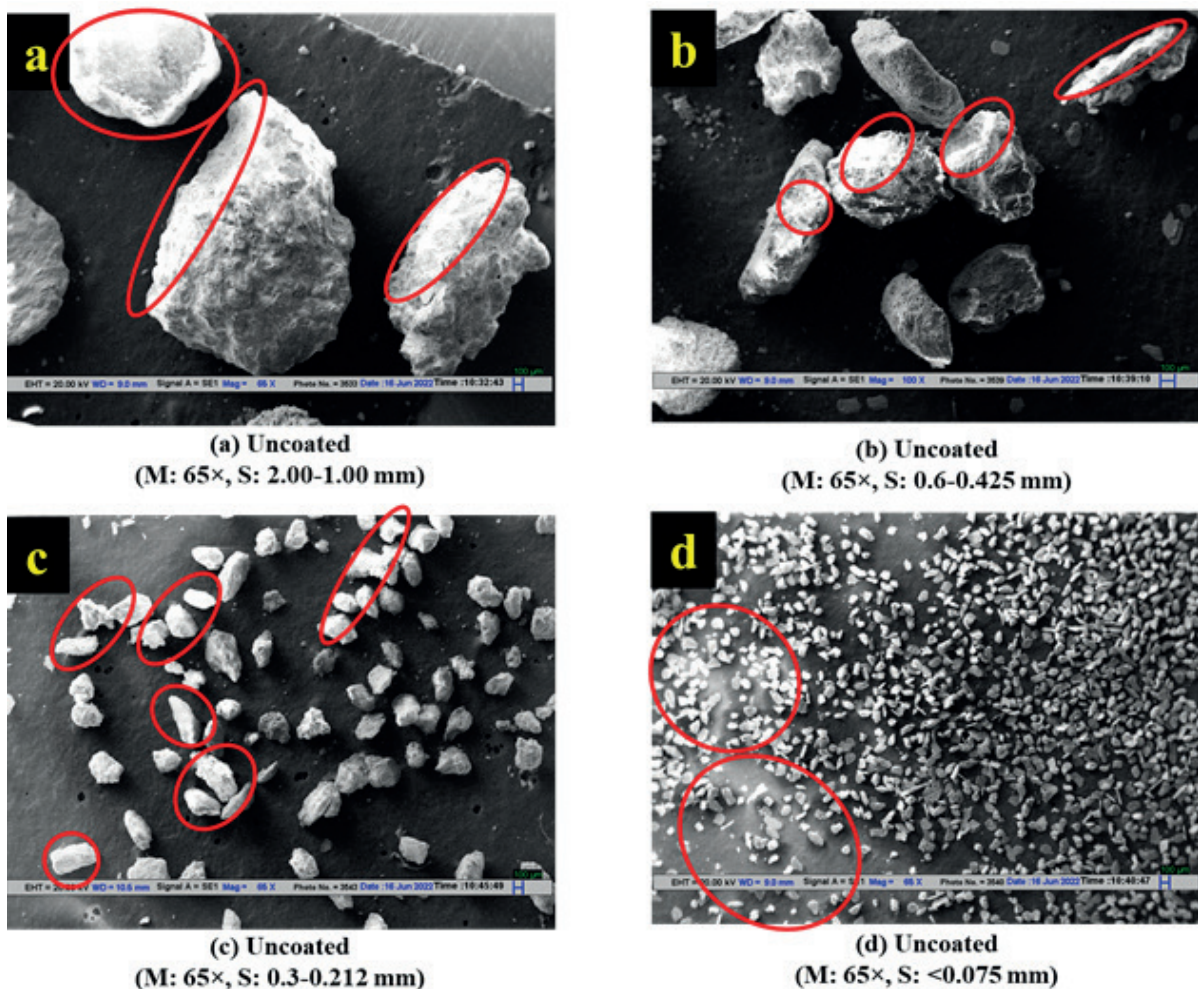


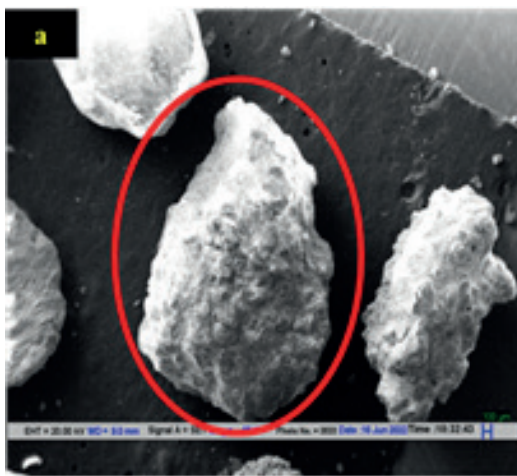
Figure 3. Uncoated soil particles at 65× times magnification, (a) Particle size 2-1 mm, (b) 0.6-0.425 mm, (c) 0.3-0.212 mm, (d) <0.075 mm.

The letters M and S represent magnification and size, respectively. The particle of size 2-1mm, and 0.6-0.425mm shows the partial charging of particles (Figure 3a, b). The images are

useful to investigate the boundary outline of the particles but not the microstructural features. As shown in Figure 3(c, d) the particles were charged are not used in the microstructure analysis and causes the misrepresentation of surface features. Ichinokawa et al. (1974), obtained SEM images on flat surface of Teflon sheet of uncoated and coated with gold evaporated films excepts for a strip of 200, 100, and 50 μ m. The conclusions are that the charging effect is more in uncoated strips (Ichinokawa et al., 1974).

3.2 Effect of Number of Conductive Coatings

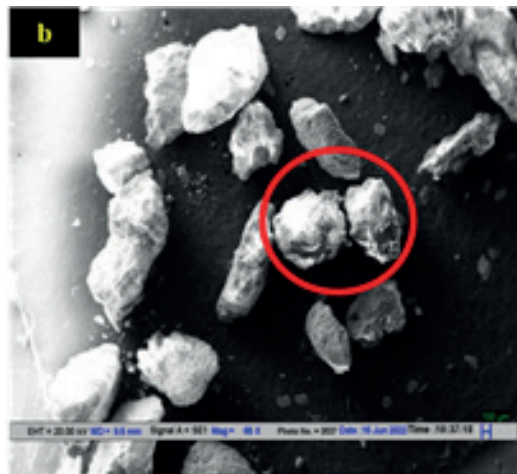
The surface potential is reduced by providing conductive material coating (gold/copper) so that the conductive coating acts as bridge between the specimen and stub (earthing to the concentrated electrons) to avoid charging. Soil particles are a mixture of mineral grains and amorphous material. Mineral grains act as conducting medium to the electrons, but the amorphous material acts as nonconductive medium causes the accumulation of electrons, resulting negative charging of soil particles. The charging effect reduced with the number of conductive coatings (Figure 3, 4).



(a) Single Coating
(M: 65 \times , S:2.00-1.00mm)



(a1) Double Coating
(M: 65 \times , S:2.00 -1.00mm)



(b) Single Coating
(M: 65 \times , S: 0.6-0.425 mm)



(b1) Double Coating
(M: 65 \times , S: 0.6-0.425 mm)

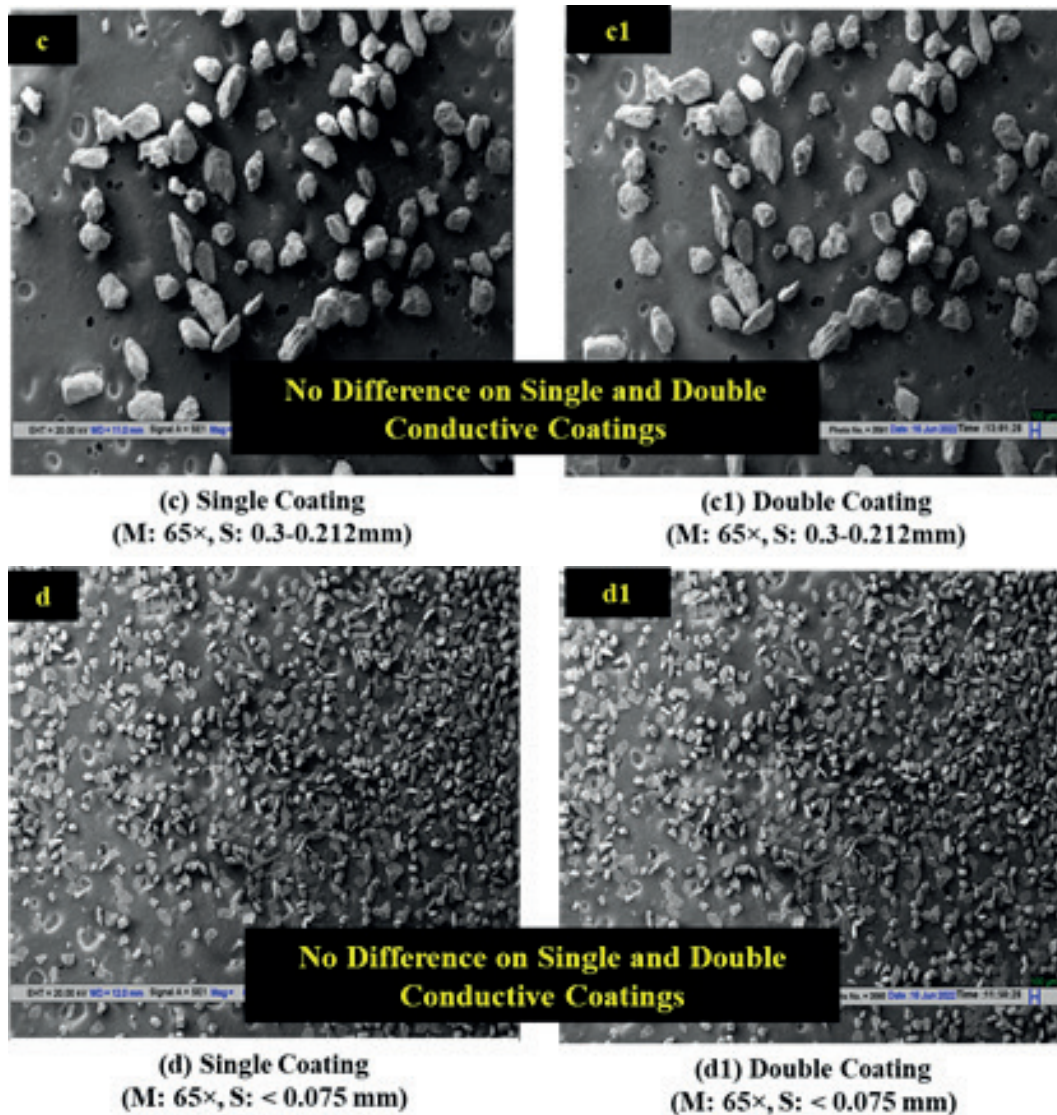


Figure 4. Effect of number of copper coatings on charging, a) Particle Size 2-1 mm, b) Particle Size 0.6-0.425 mm.

From Figure 4, the particles of size greater 0.425mm (varying from 2 to 0.425mm) exhibit charging after single conductive coating. For analysis of microstructure of soil particles greater than 0.425mm were subjected to a second conductive coating (Figure 4a, a1, b, and b1). The particles of size less than 0.425mm were not affected by single and double conductive coatings (Figure 4c, c1, d, and d1).

The image has blunt edges after single conductive coating at the magnification of 10000× times of particle size 2-1mm (Figure 5a). After the second conductive coating, the sharpness of image was achieved, and the microstructure is clearly observed at 10000× Magnification (Figure 5b). It is evident that, for shape microstructure images for a particle of size greater than 0.425mm require double conductive coating on higher magnification.

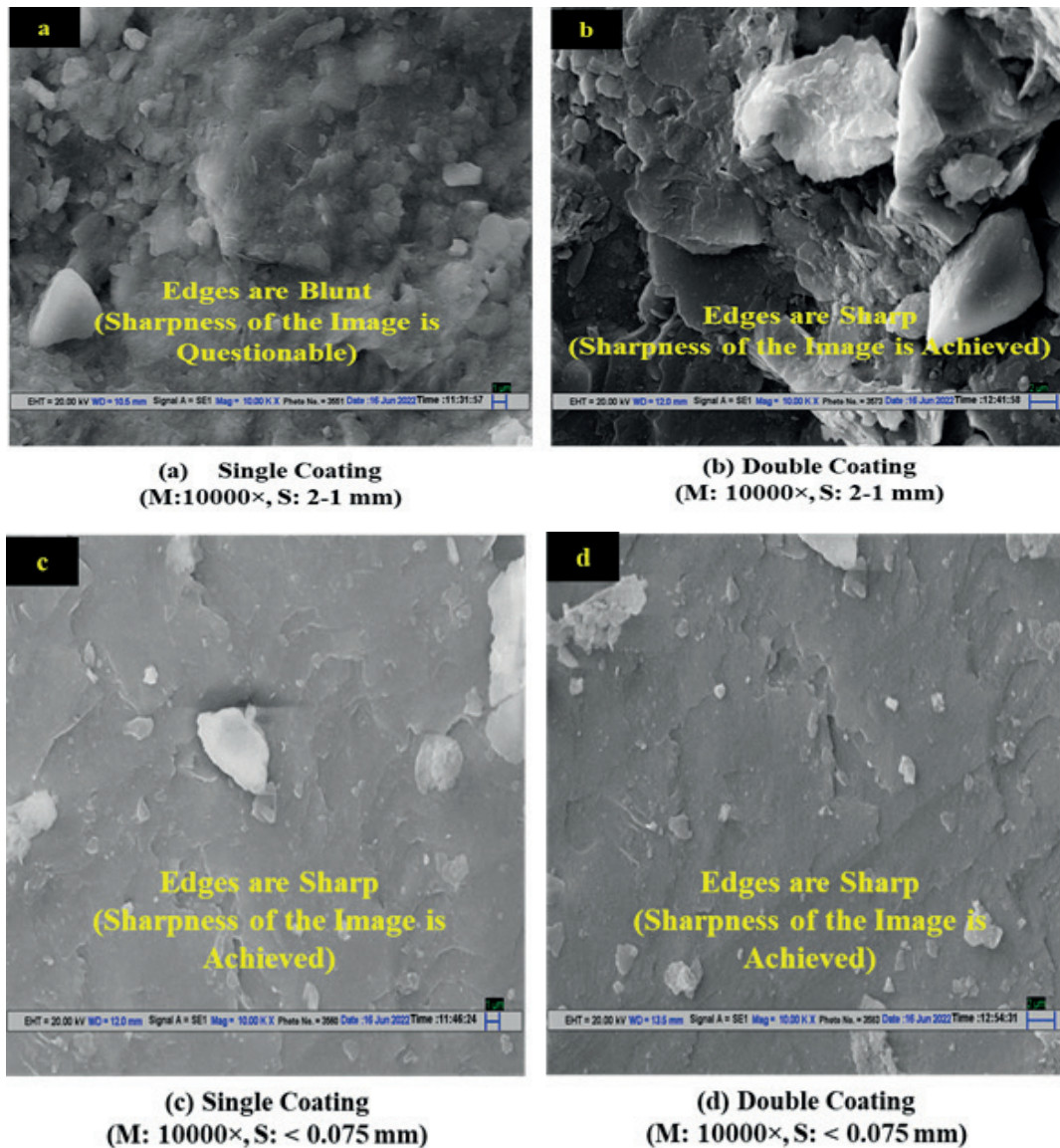


Figure 5. Microstructure of soil particles at single and double conductive coatings at 10000× Magnification, (a and b) Particle Size 2-1 mm, (c and d) Particle Size <0.075 mm.

There is not much difference between the single coating and double coating of particle size less than 0.075mm at 10000× times magnification (Figure 5c, d). The above discussion enables that, for microstructure analysis of soil particles of size greater than 0.425mm require double conductive coating and particles of size less than 0.425mm require only single conductive coating for higher magnification. For the measurement of particle size and shape does not demand the requirement of conductive coating, but for microstructure analysis conductive coating is compulsory. The conductive coating reduces the charging effect by driving the electrons to the ground (Borchert et al., 1991)

The maximum care was taken to avoid moisture and samples were kept at oven dry of 105 °C before subjecting to SEM imaging. Another reason for charging porous particles is due to the accumulation of nonconductive clay minerals in the boundaries of the micropores.

4 Conclusions

The soil particle size greater than 212 microns, go for the double coating of sample for better conducting of material. The soil particles size less than 75 microns requires single coating, if the sample has more porous particles requires double coating to avoid blunting of mineral edges. The time of incident beam on a small area of sample should be minimized and can be adopted as imaging strategy.

The charge balance is not possible on the surface of the sample, change the incident beam energy to less than 5 kV, but the sharpness of the image is questionable. The study made conclusions on analysis of colluvium soil particles SEM images and the methodology can be used for all types of soil.

The practical solution to avoid the charging effect from the instrument is to work on lowest usable or suitable magnification, to avoid small scan-square modes of operation, and to go for high resolution microscopes for more detailed study of morphology on nanoscale like field emission scanning electron microscope (FE-SEM), transmission electron microscope (TEM), and high-resolution transmission electron microscope (HR-TEM).

References

1. Vos, K., N. Vandenberghe, and J. Elsen. "Surface textural analysis of quartz grains by scanning electron microscopy (SEM): From sample preparation to environmental interpretation." *Earth-Science Reviews*, 2014. 128: p. 93-104.
2. Park, J.S., et al. "Investigating physical and mechanical properties of nest soils used by mud dauber wasps from a geotechnical engineering perspective." *Scientific reports*, 2022. 12(1): p. 2192.
3. Song, X., et al. "Elimination of the charge effect on zirconia coatings using a focused ion beam for characterization of the three-dimensional microstructure." *Materials Characterization*, 2022. 185: p. 111769.
4. Jafery, K.M., et al. "SEM-EDX and AFM analysis for the surface corrosion morphology structure and roughness on embedded X70 external pipeline in acidic soil (peat) environment." *Materials Today: Proceedings*, 2022. 48: p. 1929-1935.
5. Burdalski, R.J., et al. "Mineralogy, morphology, and reaction kinetics of ureolytic bio-cementation in the presence of seawater ions and varying soil materials." *Scientific Reports*, 2022. 12(1): p. 17100.
6. Islam, A., et al. "Scanning Electron Microscopic Analysis of Clays in The Soils of Lower Atrai Basin of Bangladesh." *Dhaka University Journal of Biological Sciences*, 2022. 31(1): p. 105-115.
7. Zhang, H.-B., R.-J. Feng, and K. Ura. "Utilizing the charging effect in scanning electron microscopy." *Science progress*, 2004. 87(4): p. 249-268.
8. Grella, L., et al. "Simulations of SEM imaging and charging." *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, 2004. 519(1-2): p. 242-250.
9. Flatabø, R., A. Coste, and M. Greve. "A systematic investigation of the charging effect in scanning electron microscopy for metal nanostructures on insulating substrates." *Journal of Microscopy*, 2017. 265(3): p. 287-297.
10. Chetana, S., et al. "Study on the DC supply and charging effect on the growth of carbon nanotubes and their electrochemical properties." *Journal of Materials Science: Materials in Electronics*, 2022. 33(25): p. 19937-19946.
11. Bayazid, S.M., et al. "Investigation of the Effect of Magnification, Accelerating Voltage, and Working Distance on the 3D Digital Reconstruction Techniques." *Scanning*, 2020. 2020: p. 1-9.
12. Ichinokawa, T., et al. "Charging effect of specimen in scanning electron microscopy." *Japanese Journal of Applied Physics*, 1974. 13(8): p. 1272.
13. IS1498, Classification and identification of soils for general engineering purposes. Indian Standards, Bureau of Indian Standards, 1-28. 2007.
14. IS2720-4. Indian Standard, Methods of Test for Soils, Part 4: Grain Size Analysis [CED 43: Soil and Foundation Engineering]. 1985.
15. Carl, Z., Carl Zeiss AG - EVO50 Series. EVISA. 2003.
16. Borchert, A., K. Vecchio, and R. Stein. "The use of charging effects in Al/Al₂O₃ metal-matrix composites as a contrast mechanism in the SEM." *Scanning*, 1991. 13(5): p. 344-349.

Сканерлеуші электронды микроскопиядағы (СЭМ) топырақ бөлшектеріне зарядтың әсері

Венкатешварду Полугари, Нирбхай Нараян Сингх, К.С. Рао, Н.М.А. Кришнан

Дели Үнді технологиялық институты, Нью-Дели, Үндістан

Аңдатпа. Сканерлеуші электронды микроскоп (СЭМ), материалдардың сипаттамаларын анықтауға арналған құрал, борпылдақ материалдардың беті мен жер асты қабаттары, құрамы мен ақаулары туралы ақпарат алуға мүмкіндік береді. Мақаланың мақсаты-сканерлеуші электронды микроскопия (СЭМ) кезінде зарядтауға топырақ бөлшектерінің параметрлерінің әсерін түсіну. СЭМ суреттері коллювиалды топырақ бөлшектерінде бөлшектердің мөлшерін ($A=2-1$ мм, $B=0,6-0,425$ мм, $C=0,3-0,212$ мм және $D=<0,075$ мм) және өткізгіш жабындардың санын (жабынсыз, бір және қос) өзгерту арқылы алынды. Мақалада топырақ бөлшектерінің барлық түрлеріне қолданылатын СЭМ әдісімен кескіндерді алу үшін топырақ бөлшектерін дайындау әдісі ұсынылған. Зерттеу көрсеткендей, 212 мкм - ден асатын топырақ бөлшектері зарядтау әсерін болдырмау үшін қос өткізгіш жабынды, ал 75 мкм-ден аз бір жабынды қажет етеді. Кескіннің айқындылығы 212 мкм ден асатын топырақ бөлшектері үшін күмәнді Қос өткізгіш жабындарды қолданғаннан кейін 10000 есе және одан жоғары үлкейту кезінде.

Түйін сөздер: сканерлеуші электронды микроскопия, топырақ бөлшектері, зарядтау әсері.

Влияние заряда на частицы почвы при сканирующей электронной микроскопии (СЭМ)

Венкатешварду Полугари, Нирбхай Нараян Сингх, К.С. Рао, Н.М.А. Кришнан

Индийский технологический институт Дели, Нью-Дели, Индия

Аннотация. Сканирующий электронный микроскоп (СЭМ), инструмент для определения характеристик материалов, позволяет получить информацию о поверхности и подповерхностных слоях, составе и дефектах сыпучих материалов. Цель статьи - понять влияние параметров частиц грунта на зарядку при сканирующей электронной микроскопии (СЭМ). СЭМ-изображения были получены на частицах коллювиального грунта путем варьирования размера частиц ($A=2-1$ мм, $B=0,6-0,425$ мм, $C=0,3-0,212$ мм и $D=<0,075$ мм) и количества проводящих покрытий (без покрытия, одинарное и двойное). В статье предлагается способ подготовки частиц почвы для получения изображений методом СЭМ, который применим для всех типов частиц почвы. Исследование показало, что частицы грунта размером более 212 мкм требуют двойного токопроводящего покрытия, а менее 75 мкм - одинарного покрытия, чтобы избежать эффекта зарядки. Резкость изображения сомнительна для частиц грунта размером более 212 мкм при увеличении в 10000 раз и выше после нанесения двойных проводящих покрытий.

Ключевые слова: сканирующая электронная микроскопия, частицы почвы, зарядный эффект.

Б.М. Искаков¹, З.В. Капшакбаева², С.М. Тохтарова³

¹НАО Казахский агротехнический исследовательский университет
им. С. Сейфуллина, Астана, Казахстан

²НАО Торайгыров Университет, Павлодар, Казахстан

³НАО Университет имени Шакарима г. Семей, Казахстан

E-mail: baissetmey@bk.ru

Переработки дикой облепиховой продукции с помощью опытных установок

Аннотация. В данной статье представлены результаты экспериментальных исследований по выжиманию продукта облепихи дикой с помощью опытного пресса, разделению сока и экстракта с помощью центрифуги. Исследованы гармоничные связи взаимозависимостей давления и скорости в напоре, установлено, что минимальная величина показателя сочности продукции облепихи дикой находится в диафрагменном зазоре, равном $\delta=6 \cdot 10^{-3}$ м, и обосновано, что оптимальная скорость отжима составляет 14,653 рад/с. Эти работы проводились с целью получения натурального чистого экстракта с целью использования экстракта в мясных полуфабрикатах.

Ключевые слова: облепиха дикая, центрифуга, пресс, экстракт, мясные полуфабрикаты.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-67-74

1. Введение

Современное состояние промышленности тт Казахстана характеризуется бурным развитием, стремительными изменениями и активным поиском новых подходов к производству, качеству и безопасности продукции. Эта отрасль остается одной из важнейших в пищевой промышленности страны, обеспечивая население высококачественной мясной продукцией [1].

Спрос на мясную продукцию в Казахстане растет в связи с увеличением численности населения и повышением уровня доходов. Потребители проявляют повышенный интерес к здоровому питанию, что побуждает производителей создавать инновационные продукты с улучшенной производительностью [2].

Важным аспектом развития мясной промышленности является увеличение доли переработки сырья внутри страны, что способствует улучшению экономической ситуации и созданию рабочих мест. Имеется значительный потенциал в экспорте мясной продукции, что открывает новые перспективы для развития [3].

Применение растительного сырья из восточного региона Казахстана, обладающего антиоксидантными свойствами, представляет собой важную инновацию в производстве мясных полуфабрикатов. Одним из таких ценных ингредиентов является дикая облепиха, богатая биологически активными веществами, такими как витамины, микроэлементы и антиоксиданты.

Антиоксиданты играют ключевую роль в защите организма от воздействия свободных радикалов, которые могут привести к окислительному стрессу и различным заболеваниям. Введение в мясные полуфабрикаты дикой облепихи позволяет обогатить продукт антиоксидантами, тем самым повышая его пищевую ценность и функциональность [4].

Использование дикой облепихи в обработанном мясе может не только обогатить продукт антиоксидантами, но и придать ему неповторимый вкус, аромат и цвет. Кроме того, антиоксиданты могут продлить срок хранения продукта, предотвращая окисление жира и улучшая текстуру.

Дикая облепиха, произрастающая в восточном регионе Казахстана, имеет богатый химический состав, включая витамины С и Е, каротиноиды и флавоноиды. Эти компоненты способствуют не только сохранению качества продукции, но и улучшению общего состояния здоровья потребителей.

Однако при осуществлении данных работ переработка дикорастущей облепиховой продукции, выбор наиболее эффективного из многообразия оборудования с целью различения полученной продукции является достаточно сложным процессом. Для этих целей используются прессы, сепараторы, центрифуги, фильтры и соковыжималки. Каждое оборудование и установка имеют свои преимущества и недостатки, и при их выборе необходимо проводить все исследования о его влиянии на состав сырья и продукции. В результате первых исследований было отмечено, что применение опытных прессов с целью отжима продукции облепихи дикой, а центрифуг с целью отделения сока от экстракта является наиболее эффективным [5, 6].

Целью исследовательских работ является выдавливание продукции облепихи дикой с помощью опытного пресса, различение сока и экстракта с помощью опытной центрифуги, получение экологически чистых продуктов и использование в мясных полуфабрикатах.

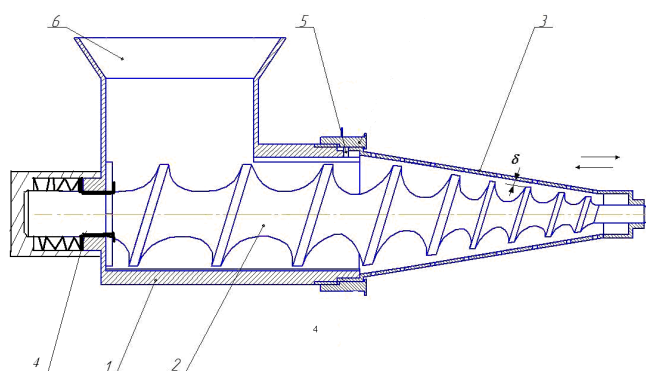
2. Методы

При достижении поставленной цели и проведении исследовательской работы были использованы различные современные методические подходы, изучены материалы из литературных источников в интернет и библиотечных фондах. В целях обработки накопленного материала использовалась программа работы с электронными таблицами Excel, в частности математические и статистические расчеты.

3. Результаты и обсуждение

В производстве масла и сока рассматриваются различные технологические методы (диффузия, экстракция, прессование и др.). Продукция, полученная по последнему указанному методу, будет очень экологически чистой [7]. В различных пищевых производствах, в том числе в направлении изучения процесса прессования (шнекового пресса) с целью отжима сока, Многие ученые провели специальную научную работу, в том числе в контексте шнековых прессов [8-11]. Однако из анализа конструкций шнековых устройств видно, что научные исследования, проводимые до сих пор, не сходятся в одной общей теоретической части конструкции шнековых устройств. В этом можно легко убедиться, посмотрев на расхождения в найденных решениях, выполнив расчеты на основе уравнений, определенных в данной обстановке. Поэтому разработанное нами экспериментальное прессовое оборудование позволяет интенсифицировать процесс выделения сока из семян облепихи посредством процесса прессования без применения химических методов и механически, сохраняя природное ценное качество, повышая затраты на межоперационные перевозки и трудоемкость, а также важность использования [12].

Описание опытного прессового оборудования для производства соковыделения. Инновационный патент РК на изобретение №25524 в лаборатории «совершенствование техники и технологии пищевых продуктов» инженерно-технологического факультета государственного университета имени Шакарима г. Семей с целью интенсификации процесса прессования (Публикация от 15.03.2012, бюл. № 3) на базе построено экспериментальное прессовое оборудование для производства соковыжималки с механизмом, обеспечивающим равномерное распределение давления на продольный рост шнека (рис.1,2) [13].



1-станина; 2-шнек; 3-конусообразная сетка с выходом сока;
4-механизм регулирования давления; 5-стопорная гайка;
6-гарузочный бункер;

Рисунок 1. Принципиальная схема соковыжималки



Рисунок 2. Общий вид экспериментального прессового оборудования

Соковыжималка работает следующим образом: облепиха подается из бункера в 6 прессовочных перегородок. Давление возникает в результате ступенчатого усадки внешнего диаметра прессующего шнека 2 на изделие по направлению хода изделия, и через отверстия конусообразной сетки 3 выделяется сок. Давление, необходимое для отделения сока, регулируется на основе специально разработанного механизма регулирования давления 4 (рисунок 3).



Рисунок 3. Процесс выжимки сока

В результате включения механизма регулятора давления в конструкцию усовершенствованного оборудования мы достигаем снижения удельных потерь мощности, интенсифицируя процесс разделения сока, обеспечивая равномерное распределение давления по продольному приросту шнека, обеспечивая при этом полное изменение зазора между конусным шнеком и конусообразной сеткой. Результаты исследования были изложены на международных научных конференциях и форумах [14-16].

Экспериментальные исследовательские работы проводились на основе структурных показателей опытного прессового оборудования для соковыжималки. В экспериментальной исследовательской работе был использован урожай облепихи дикой, произрастающей в нашем регионе.

В исследовательской работе использовался урожай облепихи дикой, произрастающей в ВКО (рисунок 4). Высота дикого облепихового дерева составляет 3 м. Урожай быстро цветет при больших весенних сроках, листья тонкие, длинные.



Рисунок 4. Дикая облепиха

С целью отделения постпрессового продукта от сока и экстракта использовалась экспериментальная центрифуга, которая под действием центробежной силы с высокой скоростью отделяла дикую облепиху от сока и экстракта. Сок и экстракт, полученные после процесса прессования, представлены на рисунках 5, 6. Результат эксперимента показывает, что плодородное зерно облепихи дикой имеет большое количество сока, и, как мы видели на предыдущем рисунке, видно, что ее плодородное зерно крупное. В то время как содержание сока в нем составляет 55%, оставшееся количество состоит из костных и протертых смесей.



Рисунок 5. Выделенный сок



Рисунок 6. Экстракт

Эксперимент проводился на всех конструктивно параметрических комплексах прессового оборудования. Но, поскольку не все из них способны удовлетворить

эффективные цели и требования исследовательской работы, нет необходимости давать характеристику. Поэтому описание процесса прессования было охарактеризовано на основе конкретных согласованных параметров и результатов исследования, раскрывающих его содержание.

Исследована зависимость сока облепихового продукта от скоростей и диафрагмальных отверстий в процессе прессования. В исследовательской работе строительно-определяемые параметры, позволяющие раскрыть содержание работы при описании экспериментальных результатов, выстроены в системе зависимостей следующим образом. Одной из основных задач научной работы является определение гармоничных факторов, необходимых для интенсификации процесса прессования. Следовательно, придание необходимого давления разделению жидкой фракции с увеличением скорости по мере необходимости в интенсификации процесса прессования. Для достижения такого результата, изучая гармоничные связи взаимозависимостей давления и скорости, определяли минимальный размер показателя сочности облепихового продукта в диафрагмальном отверстии, равном $\delta=6 \cdot 10^{-3}$ м. При дальнейшем уменьшении диафрагмального отверстия выделяющийся сок и другие части экстракта бок о бок выходят вместе в зерном цилиндре и вызывают закупорку зернового цилиндра. Кроме того, при низких скоростях соковыделение процесс выделения сока ухудшается из-за недостатка давления, необходимого для отжима сока из-за уменьшения принудительного потока. Такое явление может быть связано с ухудшением процесса прессования из-за того, что облепиха не успела полностью отделиться от сока, если использовать ее на высоких скоростях. Таким образом, мы получаем скорость 14,653 рад/с в качестве согласованного конструктивного параметра.

Показаны результаты исследования химического состава облепихового продукта, экстракта, оставшегося после отжима сока из плодов. Установлено, что облепиха и экстракт являются ценным источником белка, жиров растительного происхождения, клетчатки, витаминов, кислот, микроэлементов и других важных для жизни питательных веществ.

4. Выводы

Использование пресс оборудования для выжимки дикой облепихи и последующего разделения выжимки на сок и экстракт является важным этапом в процессе переработки данного ценного сырья. Данный метод обладает рядом преимуществ, которые делают его эффективным и перспективным для производства высококачественных продуктов.

Пресс оборудование обеспечивают механическое отжимание сока из дикой облепихи, что позволяет получить ценные биологически активные вещества, витамины и антиоксиданты. Такой способ мягкой обработки сырья позволяет сохранить максимальное количество питательных компонентов, что важно для производства функциональных продуктов питания.

Такой подход к переработке дикой облепихи имеет большой потенциал в пищевой и фармацевтической промышленности. Он позволяет получить сырье для производства разнообразных продуктов, таких как натуральные соки, экстракты, добавки к пищевым продуктам и биологически активные добавки. Таким образом, применение пресс-установок и технологий разделения выжимки на сок и экстракт способствует повышению эффективности переработки дикой облепихи и расширению ассортимента высококачественных продуктов с ее участием.

Подтверждения

Данное исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (AP19579440 «Разработка технологии мясных полуфабрикатов с использованием природных растительных ресурсов восточного региона Казахстана с антиоксидантными свойствами»).

Список литературы

1. Сапарова Г. К. и др. Современное состояние мясной промышленности в условиях технологического развития аграрного сектора Казахстана //Наука Красноярья. – 2021. – Т. 10. – №. 1. – С. 82-105.
2. Кулакова С. В. Формирование конкурентоспособности мясной продукции //Russian Economic Bulletin. – 2020. – Т. 3. – №. 5. – С. 161-164.
3. Сапарова Г. К., Касенова А. Ж., Насырова А. М. ТЕНДЕНЦИИ РАЗВИТИЯ МЯСНОЙ ПРОМЫШЛЕННОСТИ КАЗАХСТАНА В СОВРЕМЕННЫХ УСЛОВИЯХ //Каржы-Финансы. – 2020. – №. 3. – С. 71-80.
4. Лукьянова В. Д. Использование растительной добавки функциональной направленности в технологии мясных рубленых полуфабрикатах //Использование современных технологий в сельском хозяйстве и пищевой промышленности. – 2020. – С. 120-123.
5. Рскелдиев Б. А. и др. Разработка технологии мясорастительного полуфабриката с добавлением облепихи //Мясная индустрия. – 2019. – №. 7. – С. 33-36.
6. Музыкина Д. С. ПРИМЕНЕНИЕ ПЮРЕ ИЗ ОБЛЕПИХИ В ТЕХНОЛОГИИ ПРОИЗВОДСТВА МЯСНОГО ПАШТЕТА //НАУЧНЫЙ ЭЛЕКТРОННЫЙ ЖУРНАЛ «МАТРИЦА НАУЧНОГО ПОЗНАНИЯ» ISSN 2541-8084. – С. 27.
7. Муратжанкызы Н., Касенов А.Л., Тохтаров Ж.Х. Изучение растительного сырья для дальнейшей разработки процесса прессования // Материалы международной научно-практической конференции «Найновите постижения на европейската наука - 2018» Болгария, 15-22 юни 2018 г., 34-37 с.
8. Измалков Л.И. Исследование износа и работы деталей прессового тракт-та шнековых маслопрессов: автореф. ... канд. техн. наук.: - Краснодар, 1963. - 29 с.
9. Масликов В.А. Исследование процесса прессования подсолнечной мезги на прессе ФП: автореф. ... канд.техн. наук.: - Краснодар, 1975. - 43 с.
10. Зарембо Г. В. Исследование процесса отжима растительных масел в шнековых прессах: автореф. ... канд. техн. наук.: - Краснодар, 1962. - 11 с.
11. Гавриленко И.В. Разработка и совершенствование технологии маслоэкстракционного производства: автореф. ... докт. техн. наук.: - Ташкент: 1965. - 77 с.
12. Амирханов К.Ж., Қасенов А.Л., Орынбеков Д.Р., Тохтаров Ж.Х., Муратжанкызы Н. Жергілікті табиғи ресурстарды тиімді пайдаланып биологиялық құндылығы жоғары тағам түрлерін өндірудің заманауи бағытын дамыту // «XXI ғасыр биология және биотехнологиясы» атты халықаралық ғылыми форумының материалдар жинағы. Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ, (7-8 сәуір 2016 ж.) Астана. 13 -16 б.
13. ҚР Өнертабысқа инновациялық патенті №25524. Шырын бөліп алуға арналған шнекті пресс / Какимов М., Тохтаров Ж., Орынбеков Д., Касенов А., Паримбеков З., Жолжаксина А. жарияланым 15.03.2012, бюл. № 3.
14. Муратжанкызы Н., Касенов А.Л., Тохтаров Ж.Х., Толеуғазықызы А., Байбалинова Г.М. Шырғанақ өнімін өңдеудің жаңа түрі // Семей қаласының Шәкәрім атындағы мемлекеттік университетінің Хабаршысы, №2 (74) Семей 2016 ж. 6-8 б.
15. Какимов М.М., Касенов А.Л., Тохтаров Ж.Х., Толеуғазықызы А. Статистическое моделирование разделения жира в потоке шнековых установок // Вестник государственного университета имени Шакарима города Семей, №1 (81) Семей 2018 г. 18-23 с.
16. Какимов М.М., Тохтаров Ж.Х., Искаков Б.М. Интенсификация процесса обработки давлением с целью разработки оборудования для прессования // Материалы 19-ой международной научно-практической конференции «Практические и теоретические аспекты комплексной переработки продовольственного сырья и создания конкурентоспособных продуктов питания – основа обеспечения импортозамещения и продовольственной безопасности России» посвященной памяти Василия Матвеевича Горбатова. ФГБНУ «ВНИИМП им. В.М. Горбатова» (8-9 декабря 2016 г.) Москва. 149-152 с.

Тәжірибелі қондырғылардың көмегімен жабайы шырғанақ өнімдерін қайта өңдеу

Искаков Б.М¹, Капшакбаева З.В², Тохтарова С.М³

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті КеАҚ, Астана, Қазақстан

²С. Торайғыров университеті КеАҚ, Павлодар, Қазақстан

³Шәкәрім университеті КеАҚ, Семей, Қазақстан

E-mail: baissemey@bk.ru

Аңдатпа. Аталмыш мақалада, жабайы шырғанақ өнімін тәжірибелік престің көмегімен сығып алу, шырын мен сығындыны центрифуганың көмегімен ажырату жұмыстары жайлы тәжірибелік зерттеу нәтижелері сипатталған. Нәтижесінде престегі қысым мен жылдамдықтың өзара тәуелділіктерінің үйлесімді байланыстарын зерттеліп, жабайы шырғанақ өнімінің шырындылық көрсеткішінің ең төменгі мөлшері $\delta=6\cdot 10^{-3}$ м тең диафрагмалық саңылауда болатыны анықталып, сығып алу жылдамдығы 14,653 рад/с үйлесімді құрылмалық параметр болып табылатыны негізделді. Бұл жұмыстар сығындыны ет жартылай фабрикаларында пайдалану мақсатында табиғи таза сығындыны алу мақсатында жүргізілді.

Түйін сөздер: жабайы шырғанақ, центрифуга, пресс, сығынды, ет жартылай фабрикалары.

Processing of wild sea buckthorn products with the help of pilot plants

B.M. Iskakov¹, Z.V. Kapshakbaeva², S.M. Tokhtarova³

¹NJSC Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullina, Astana, Kazakhstan

²NJSC Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

³NJSC Shakarim University, Semey, Kazakhstan

E-mail: baissemey@bk.ru

Annotation. This article presents the results of experimental studies on squeezing the wild sea buckthorn product using an experimental press, separating the juice and extract using a centrifuge. The harmonious relationships of the interdependencies of pressure and velocity in the head are investigated, it is established that the minimum value of the juiciness index of wild sea buckthorn products is in the diaphragm gap equal to $\delta = 6 \cdot 10^{-3}$ m, and it is proved that the optimal spin rate is 14.653 rad/With. These works were carried out in order to obtain a natural pure extract in order to use the extract in meat semi-finished products.

Key words: wild sea buckthorn, centrifuge, press, extract, semi-finished meat products.

References

1. Saparova G. K. et al. The current state of the meat industry in the conditions of technological development of the agricultural sector of Kazakhstan //Science of Krasnoyarsk region. – 2021. – Vol. 10. – No. 1. – pp. 82-105.
2. Kulakova S. V. Formation of competitiveness of meat products //Russian Economic Bulletin. – 2020. – Vol. 3. – No. 5. – pp. 161-164.
3. Saparova G. K., Kasenova A. Zh., Nasyrova A.M. TRENDS IN THE DEVELOPMENT OF THE MEAT INDUSTRY OF KAZAKHSTAN IN MODERN CONDITIONS //Karzhy-Finance. – 2020. – No. 3. – pp. 71-80.
4. Lukyanova V. D. The use of a functional vegetable additive in the technology of minced meat semi-finished products //The use of modern technologies in agriculture and the food industry. – 2020. – pp. 120-123.
5. Rskeldiev B. A. et al. Development of the technology of meat-growing semi-finished product with the addition of sea buckthorn //Meat industry. – 2019. – No. 7. – PP. 33-36.
6. Muzykina D. S. THE USE OF SEA BUCKTHORN PUREE IN THE PRODUCTION TECHNOLOGY OF MEAT PASTE //SCIENTIFIC ELECTRONIC JOURNAL “MATRIX OF SCIENTIFIC COGNITION” ISSN 2541-8084. – P. 27.

7. Muratzhankyzy N., Kasenov A.L., Tokhtarov Zh.Kh. The study of plant raw materials for the further development of the pressing process // Materials of the international scientific and practical conference "Nainovite comprehension at the European Science - 2018" Bulgaria, 15-22 juni 2018, 34-37 p.
8. Izmalkov L.I. Study of wear and operation of parts of the press path of screw oil presses: abstract ... Candidate of Technical Sciences: - Krasnodar, 1963. - 29 p.
9. Maslikov V.A. Investigation of the process of pressing sunflower pulp on the press FP: abstract ... Candidate of Technical Sciences: - Krasnodar, 1975. - 43 p.
10. Zarembo G. V. Investigation of the process of vegetable oil extraction in tire presses: abstract ... Candidate of Technical Sciences: - Krasnodar, 1962. - 11 p.
11. Gavrilenko I.V. Development and improvement of oil extraction production technology: abstract. ... doct. technical sciences: - Tashkent: 1965. - 77 p.
12. Amirkhanov K.Zh., Kasenov A.L., Orynbekov D.R., Tokhtarov Zh.Kh., Muratzhankyzy N. Zhergilikti tabigi resursards tiimdi paidalanyp biologiyalyk kundylygy zhogary tagam turlerin ondirudin zamanauy bagytyn damyту // "XXI gasyr biology zhane biotechnologiyasy" atta halykaralyk gylym forumynn materialdar zhinagi. L.N. Gumilev at. EEU, (7-8 sauir 2016 w.) Astana. 13 -16 b.
13. KR Onertabyska innovation patent No. 25524. Shyrin bolip aluga arnalgan shnekti press / Kakimov M., Tokhtarov Zh., Orynbekov D., Kasenov A., Parimbekov Z., Zholzhaksina A. zhariyalanym 15.03.2012, byul. No. 3.
14. Muratzhankyzy N., Kasenov A.L., Tokhtarov Zh.Kh., Toleugazykyzy A., Baybalinova G.M. Shyriganak onimin ondeudin zhana turi // Semey kalasynn Shak'rim atyndagy memlekettik universitetinin Khabarshysy, No.2 (74) Semey 2016 w. 6-8 b.
15. Kakimov M.M., Kasenov A.L., Tokhtarov Zh.Kh., Toleugazykyzy A. Statistical modeling of fat separation in the flow of screw installations // Bulletin of the Shakarim State University of Semey, No.1 (81) Semey 2018, 18-23 p.
16. Kakimov M.M., Tokhtarov Zh.Kh., Iskakov B.M. Intensification of the pressure treatment process in order to develop equipment for pressing // Materials of the 19th International Scientific and Practical conference "Practical and theoretical aspects of complex processing of food raw materials and the creation of competitive food products – the basis for ensuring import substitution and food security of Russia" dedicated to the memory of Vasily Matveevich Gorbатов. VNIIMP named after V.M. Gorbатов (December 8-9, 2016) Moscow. 149-152 p.

Сведения об авторах:

Искаков Б. М. – докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина, пр. Победы., 62, Астана, Казахстан.

Капшақбаева З. В. – PhD, асс. проф (доцент), Университет Торайгырова, ул. Ломова, 64, Павлодар, Казахстан.

Тохтарова С.М. – докторант, Университет Шакарима, ул. Глиники, 20а, Семей, Казахстан.

B. M. Iskakov – doctoral student, Kazakh agrotechnical research university named after S. Seifullin, Zhenis Ave. , 62, Astana, Kazakhstan.

Z.V. Kapshakbaeva – PhD, ass. Professor (Associate Professor), Toraiyrov University, Lomova str., 64, Pavlodar, Kazakhstan.

S.M. Tokhtarova – doctoral student, Shakarim University, Glinki str., 20A, Semey, Kazakhstan.

U.Altigenov¹, A.Tulebekova^{1*}, S. Akhazhanov²,
D.Kazhimkanuly¹, U. Kuralov³

¹Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University,
Astana, Kazakhstan

²T.G. Mustafin Algebra, Mathematical Logic and Geometry Department,
Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan

³Department of Construction and Building Materials, Satbayev University,
Almaty, Kazakhstan
E-mail: krasavka5@mail.ru

Effectiveness of strengthening reinforced concrete structures with fibroarmed plastics

Abstract. Reinforced concrete has long been a staple in construction due to its exceptional strength and durability. One of the key components in reinforced concrete structures is steel reinforcement, which provides tensile strength to counteract the concrete's weakness in tension. However, recent innovations have led to the exploration of alternative materials that can enhance the performance of reinforced concrete elements. Among these innovations, the use of fiber-reinforced plastics has gained significant attention. The paper presents data on the application of new types of fiber-reinforced plastics for strengthening reinforced concrete structures. Stressing the laminate simultaneously on the tensile and compressed faces resulted in an increase in the strength of the beam. The compressed laminate strips relieve the compressed zone of concrete and reduce the height of the compressed zone. The results of the study contribute to the reduction of the time of work execution, due also to the absence of additional structural elements for the reinforcement of load-bearing structures.

Keywords: concrete, reinforcement, strength, fiber plastic, effectiveness.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-75-82

1. Introduction

Due to frequent changes of purpose, reconstruction, and renovation, requirements for increased reliability and comfort, physical wear, and corrosion damage of buildings and structures, the need to reinforce building structures is becoming increasingly important. The especially important role of strengthening and restoring buildings and structures is assigned in seismic areas of construction, in areas of natural disasters, and after accidents [1].

The basic material of bearing structures of buildings and constructions of the present day is monolithic or prefabricated reinforced concrete, therefore the problems of improvement of methods of reinforcement of concrete structures acquire special urgency. Traditional reinforcement methods of concrete structures are very labor-intensive, require stripping, welding, and concrete work, and require considerable time to ensure the required strength [2]. New, modern methods of reinforcement of concrete structures are focused on the use of composite fibroplastic materials for reinforcement, characterized by high strength, corrosion resistance, and durability. Surface reinforcement of concrete structures by direct gluing on concrete surfaces of reinforcing composite materials is characterized by high efficiency of strengthening, simplicity and high speed of performance, low labor intensity of works, and fast terms of strength increase [3-4].

The basic work on studying the stress state of concrete in the shell is the work of American scientists at the University of Illinois [2]. Their research is devoted to the study of concrete performance under triaxial compression. According to the results of the research, the dependence of the strength of reinforced concrete on the strength of the original concrete, radial stress in the casing, and the angle of internal friction is proposed. In the experimental studies, concrete specimens were tested in a stabilometer creating constant hydrostatic pressure.

In works [5-8] the principles of calculation of compressed reinforced concrete elements reinforced with fiber plastic sheathing have been developed, according to which failure may occur due to rupture of the sheathing material or delamination of the sheathing material in the overlap zone of the material. At the same time, various empirical dependencies are proposed to determine the concrete strength of reinforced concrete columns reinforced with fiber-reinforced plastic shells.

The paper [9] analyzes the stress-strain state of reinforced concrete columns strengthened with composite materials, which shows that the existing dependencies provide high accuracy only for round columns, and for columns of other cross-sectional shapes, significant discrepancies are obtained.

Investigation shows [10] that in addition to the triaxial stress state in concrete associated with the presence of the fiber-reinforced shell, the fiber-reinforced plastic shell itself also acquires a volumetric stress state (tensile stresses from the lateral direction in the longitudinal direction; passive concrete repulsion in the radial direction; compressive stresses acting across the fibers). In addition, the fiber-reinforced plastic cladding elastically deforms until the reinforced element fails, creating increasing passive pressure on the concrete. This differs from the performance of a metal cage, which stops increasing the pressure on the concrete when the metal reaches its yield strength. The performance of a fiber-reinforced plastic cage for rectangular reinforced members is not as effective.

Successful experience in the restoration of emergency columns of the 7-story hotel in Los Angeles, damaged in the June 1992 earthquake [11], was obtained with the construction of a casing made of canvas composite materials. So, the question of designing reinforcement of concrete structures with fiber-reinforced plastics is currently open.

2. Methods and materials

The experimental study studies the peculiarities of the work of normal sections of bent reinforced concrete beams reinforced with fiber-reinforced plastics [12].

Experimental specimens for studying the performance of normal sections of bending reinforced concrete beams are made with a span of 2200 mm, and a cross-section of 120x200 mm from the general mix of naturally hardened concrete. The specimens are reinforced by spatial knitted frames with asymmetrical reinforcement from 2Ø12A – III in the lower zone, 2Ø10A – III in the upper zone, and clamps Ø6 A – I (Figs. 1-2).

To reinforce the tensile zone of the experimental specimens for the study of the performance of normal sections, fiber-reinforced polymer material - laminate tapes based on carbon fiber fibers of S&H Laminate CFR 150/200 type with a cross-section of 50x1.2 mm were used (Fig.3).

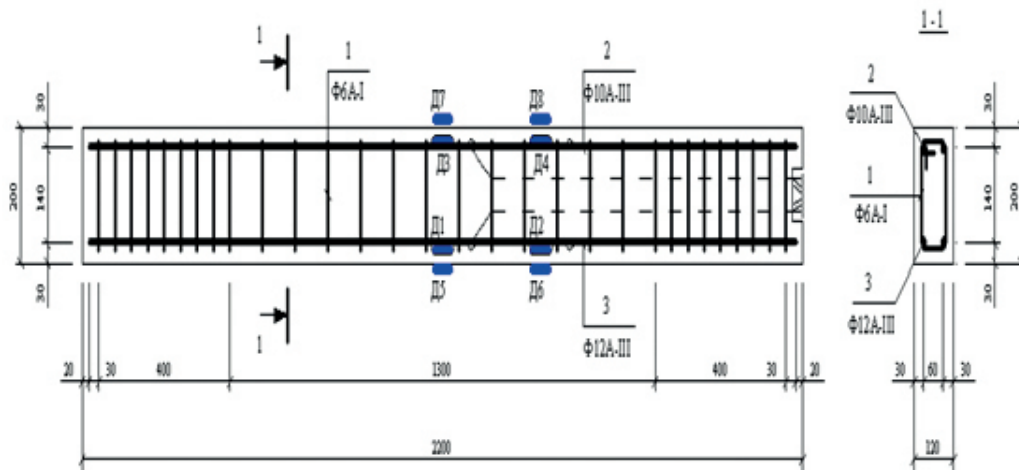


Figure 1. Reinforcement of a bending reinforced concrete beam

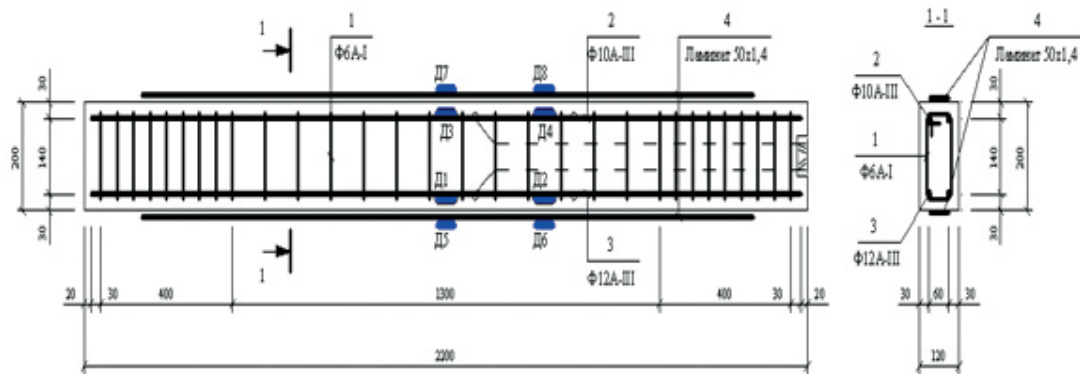


Figure 2. Reinforcement of bending reinforced concrete beam with reinforcement in tensile and compressed zones by laminate



Fig.3 Process of strengthening

To clarify the strength and deformation characteristics of the material used to reinforce the experimental reinforced concrete specimens, laminate specimens were tested. The specimens were tested on a hydraulic tensile machine R-50 by fixing the ends of tapes or meshes (the

specimens had reinforced ends) in the grips and creating a step-by-step increasing axial tensile force. In the process of testing, longitudinal elongation deformations were measured using deflection gauges PAO-6 with a division value of 0.01 mm on the base of 180-200 mm and load cells of 50 mm length complete with AID-4M (Fig. 4).



Figure 4. Test equipment

Destruction of experimental samples was accompanied by the formation of longitudinal cracks in the laminate starting in the grip of the tensile machine, after which the load-bearing capacity of the samples sharply decreased. The tensile diagram of the laminate and meshes has a linear form, the fibers were elastically stretched. Measurements of the length of the specimens, made along the reapplied notches along the length with a step of 20 mm, confirmed that there were no residual deformations in the fibers after the tests. The study of the performance of normal sections of bending reinforced concrete elements reinforced in the tensile and compression zones with fiber-reinforced laminate tapes was performed on experimental reinforced concrete beams tested according to the scheme of a hinged-open beam with a span of 2.0 m, loaded in the span by two equal concentrated forces located at a distance of 0.7 m. The static tests of the beams were carried out in a force bench under stepwise loading by transverse loading created by a hydraulic jack and a manual pumping station. Static tests of the beams were carried out in a power bench under stepwise loading with transverse load created by a hydraulic jack and a manual pumping station. Two beams of series B-I-0 of the batch had no reinforcement.

3. Results and Discussion

Their failure occurred in the zone of pure bending and was accompanied by splitting of the compressed concrete zone at stresses in the tensile reinforcement corresponding to the yield strength of steel, the beam deflections were $1/27.5$ of the span, and the crack opening width reached 2 mm and more (Fig. 5).



Figure 5. Failure of a reinforced concrete beam without reinforcement

Beams of B-I-1 series, reinforced by gluing S&H Laminate CFR 150/200 with 50x1,2 mm cross-section on stretched tapes, had the failure shown in Fig.6.



Figure 6. Beam failure with laminate reinforcement of the tensile zone

Table 1 summarizes the static test results for the beams of the B-I series.

Table 1 Test Results of B-I Series Bending Beams

Mark samples	Strengthening of samples	Breaking load kNm	Deflections cm	Opening width cracks mm	Limit deformations		Deformations laminate	
					$\epsilon_b \cdot 10^{-5}$	$\epsilon_s \cdot 10^{-5}$	$\epsilon_{ap} \cdot 10^{-5}$	$E_{ac} \cdot 10^{-5}$
B1-0-1c	Without strengthening	+20.4	5.6	1.6	-	+591	-	-
B1-0-2c		+18.68	5.1	1.3		+430	-	-
B1-0-3c		-	5.8	2,2		+464	-	-
B1-0-4c			5.9	2,3		+439	-	-
B1-1-1c	laminate	+35.07	2.4	0.6	-	+472	+610	-
B1-1-2c	flooring	+33.79	2.2	0.7		+480	+580	-

Analysis of the data in Table 1 shows that sticking S&P CFK 150/2000 laminate on the tensile face of beams resulted in an increase in the strength of beams by 76% on average (Fig.7). At the same time, the deformations of the compressed zone of concrete and tensile reinforcement remained unchanged, while the deformations of the tensile laminate amounted to about 6%, and the beam deflections and crack opening widths decreased more than twofold.

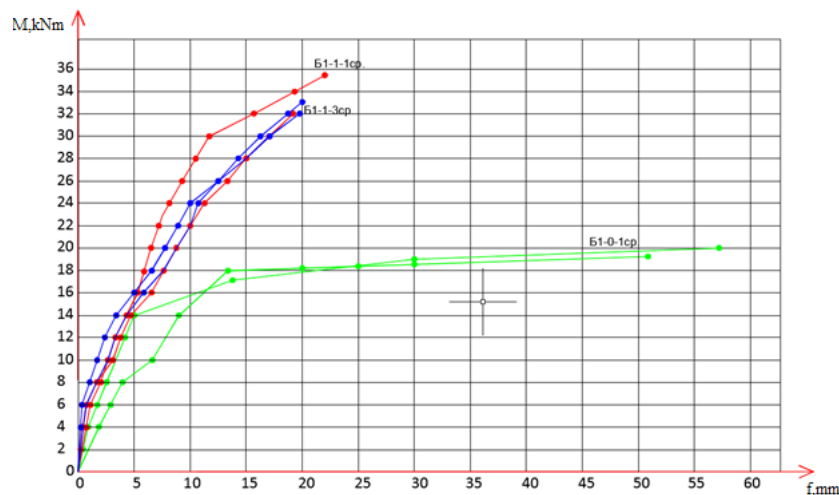


Figure 7. Graphs of vertical deflections of beams without reinforcement and reinforced with laminate.

4. Conclusion

The traditional method of reinforcing reinforced concrete structures is to increase the cross-sectional dimensions using monolithic reinforced concrete cages or metal structures. These methods are labor-intensive, accompanied by stripping, welding, and concrete works, and require considerable time for concrete strength gain. The reinforcement of concrete elements with fibroarmed plastics, or FRP composites, presents a promising avenue for improving the performance and durability of structures. The unique properties of FRP, including corrosion resistance, high tensile strength, and compatibility with concrete, make it a compelling alternative to traditional steel reinforcement. The results of tests of bending reinforced concrete structures reinforced in the tensile zone by surface gluing of different types with the help of fiber plastics showed that reinforcement of beams increases the strength by 1.5-2 times in normal sections.

However, engineers and researchers must collaborate on refining design practices and establishing standardized guidelines to ensure the safe and effective utilization of this innovative material in construction projects.

References

1. Nonlinear calculation of beam reinforcement using the finite element method / Z. Shakhmov, S. Amir // Technobius. — 2022. — T. 2, № 1. — С. 0011. DOI: 10.54355/tbus/2.1.2022.0011
2. Shilin, A.A. External reinforcement of reinforced concrete structures / A.A. Shilin, V.A. Pshenichny, D.V. Kartuzov - M. Stroyizdat.- 2004.-139 p.
3. Experimental assessment and effective bond length for RC columns strengthened with aramid FRP sheets under cyclic loading / Q.B. To, J. Shin, G. Lee, H. An, K. Lee // Engineering Structures. — 2023. — Vol. 294. — P. 116642. DOI: 10.1016/j.engstruct.2023.116642
4. Flexural behaviour of recycled reinforced concrete beams strengthened/ repaired with CFRP laminates / O.A.R. Hemida, H.A. Abdalla, H.E.E. Fouad // Journal of Engineering and Applied Science. — 2023. — Vol. 70, No. 1. — P. 64. DOI: 10.1186/s44147-023-00235-3
5. Theoretical stress-strain model for confined concrete. / J.B. Mander, M.J.N. Priestly, R. Park R. // ASCE Journal of Structural Engineering. -Vol.114.No 8. 1988. - 1804-1826 p.
6. Samaan, M. Model of Concrete Confined by Fiber Composites / M. Samaan , A. Mirmiran, K. Sahawy // Journal of structural Engineering.- ASCE. V.124. No. 9. 1998.-1025-1031 p.
7. Behavior of Concrete Confined with Fiber-Reinforced Polymer Tubes/ M. Saafi, H.A. Toutanji, Z. Li.// ACI Material Journal -V.96, No. 4 1999, -500-509 p.

8. Strengthening Effects of concrete Columns with Carbon Fiber Sheet / S. Inouse, T. Kuroda, A. Kobayashi.// Transactions of the Japan Concrete Institute - V.21, 1999.-143-159 p.
9. Axial Load Behavior of Large-Scale Columns Confined With Fiber-Reinforced Polymer Composites. / K. Miyauchi, S. Inouse, T. Kuroda, A. Kobayashi. // A.ACF Structural Journal/March-April 2005 -258-267 p.
10. FRP Strengthened RC Structures. / J.G.Teng, J.F. Chen, S.T. Smith, I. Lam.- 2002. John Wiley & Sons, Ltd. -245 p.
11. Retrofitting of Concrete Structures by Externally Bonded FRPs with Emphasis on Seismic Applications/Technical Report. Fib Bulletin - No. 35. April 2006. - 224 p.
12. EN 1992-1-1:2004 Design of concrete structures: General rules and rules for buildings. - 2004. Technical Committee CENT/TC250, 2004.

Темірбетон конструкцияларын фибробласттармен арматуралаудың тиімділігі

У.Алтигенов¹, А. Тулебекова^{1*}, С.Ахажанов², Д.Қажимқанұлы², У. Куралов

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан

³Satbayev University, Алматы, Қазақстан

Андатпа. Ерекше беріктігі мен беріктігіне байланысты темірбетон бұрыннан құрылыстың негізгі материалы болды. Темірбетон конструкцияларының негізгі құрамдас бөліктерінің бірі бетонның созылу әлсіздігіне қарсы тұру арқылы созылу беріктігін қамтамасыз ететін болат арматура болып табылады. Дегенмен, соңғы инновациялар темірбетон элементтерінің жұмысын жақсартатын балама материалдарды іздеуге әкелді. Олардың ішінде талшықты арматураланған пластмассаларды пайдалану айтарлықтай назар аударады. Мақалада темірбетон конструкцияларын нығайту үшін талшықты арматураланған пластмассалардың жаңа түрлерін қолдану туралы мәліметтер келтірілген. Ламинатты бір уақытта созу және қысу беттеріне жабыстыру сәуленің беріктігінің өсуіне әкелді. Зерттеу нәтижелері жұмысты аяқтауға қажетті уақытты қысқартуға, сондай-ақ жүк көтергіш құрылымдарды нығайтудан қосымша құрылымдық элементтердің болмауына ықпал етеді.

Түйінді сөздер: бетон, арматура, беріктік, шыны талшық, тиімділік

Эффективность усиления железобетонных конструкций фиброармированными пластиками

У.Алтигенов¹, А. Тулебекова^{1*}, С.Ахажанов², Д.Қажимқанұлы¹, У. Куралов³

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Қарағандинский университет имени Е.А. Букетова, Қарағанда, Казахстан

³Satbayev University, Алматы, Казахстан

Аннотация. Благодаря своей исключительной прочности и долговечности железобетон давно стал основным материалом для строительства. Одним из ключевых компонентов железобетонных конструкций является стальная арматура, которая обеспечивает прочность на растяжение, противодействуя слабости бетона при растяжении. Однако последние инновации привели к поиску альтернативных материалов, способных повысить эксплуатационные характеристики железобетонных элементов. Среди них значительное внимание привлекает использование фиброармированных пластиков. В статье представлены данные по применению новых типов фиброармированных пластиков для усиления железобетонных конструкций. Наклеивание ламината одновременно на растянутую и сжатую грани привело к повышению прочности балки. Сжатые ленты ламината разгружают сжатую зону бетона, уменьшают высоту сжатой зоны. Результаты исследования способствуют сокращению сроков выполнения работ, также отсутствию дополнительных конструктивных элементов для усиления несущих конструкций.

Ключевые слова: бетон, арматура, прочность, фибропластик, эффективность

Список литературы

1. Nonlinear calculation of beam reinforcement using the finite element method / Z. Shakhmov, S. Amir // *Technobius*. – 2022. – Т. 2, № 1. – С. 0011. DOI: 10.54355/tbus/2.1.2022.0011
2. Shilin, A.A. External reinforcement of reinforced concrete structures / A.A. Shilin, V.A. Pshenichny, D.V. Kartuzov - M. Stroyizdat.- 2004.-139 p.
3. Experimental assessment and effective bond length for RC columns strengthened with aramid FRP sheets under cyclic loading / Q.B. To, J. Shin, G. Lee, H. An, K. Lee // *Engineering Structures*. – 2023. – Vol. 294. – P. 116642. DOI: 10.1016/j.engstruct.2023.116642
4. Flexural behaviour of recycled reinforced concrete beams strengthened/ repaired with CFRP laminates / O.A.R. Hemida, H.A. Abdalla, H.E.E. Fouad // *Journal of Engineering and Applied Science*. – 2023. – Vol. 70, No. 1. – P. 64. DOI: 10.1186/s44147-023-00235-3
5. Theoretical stress-strain model for confined concrete. / J.B. Mander, M.J.N. Priestly, R. Park R. // *ASCE Journal of Structural Engineering*. -Vol.114.No 8. 1988. - 1804-1826 p.
6. Samaan, M. Model of Concrete Confined by Fiber Composites / M. Samaan , A. Mirmiran, K. Sahawy // *Journal of structural Engineering*.- ASCE. V.124. No. 9. 1998.-1025-1031 p.
7. Behavior of Concrete Confined with Fiber-Reinforced Polymer Tubes/ M. Saafi, H.A. Toutanji, Z. Li.// *ACI Material Journal* -V.96, No. 4 1999, -500-509 p.
8. Strengthening Effects of concrete Columns with Carbon Fiber Sheet / S. Inouse, T. Kuroda, A. Kobayashi.// *Transactions of the Japan Concrete Institute* - V.21, 1999.-143-159 p.
9. Axial Load Behavior of Large-Scale Columns Confined With Fiber-Reinforced Polymer Composites. / K. Miyauchi, S. Inouse, T. Kuroda, A. Kobayashi. // *A.ACF Structural Journal*/March-April 2005 -258-267 p.
10. FRP Strengthened RC Structures. / J.G.Teng, J.F. Chen, S.T. Smith, I. Lam.- 2002.John Wiley&Sons, Ltd. -245 p.
11. Retrofitting of Concrete Structures by Externally Bonded FRPs with Emphasis on Seismic Applications./ *Technical Report. Fib Bulletin* - No. 35. April 2006. - 224 p.
12. EN 1992-1-1:2004 Design of concrete structures: General rules and rules for buildings.- 2004. Technical Committee CEN/TC250, 2004.

Information about authors:

Алтигенов Улан – «Құрылыс» кафедрасының Ph.D студенті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, ulanbek_666@mail.ru

Түлебекова Әсел Серікқызы – «Құрылыс» кафедрасының м.а.профессор, Ph.D., Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, krasavka5@mail.ru

Ахажанов Сунгат Беркинович – Т.Ф. Мұстафин атындағы алгебра, математикалық логика және геометрия кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Е.А. Бөкетов атындағы Қарағанды университеті, Қарағанды, Қазақстан, stjg@mail.ru

Қажимқанұлы Диас – «Құрылыс» кафедрасының Ph.D студенті, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, dias27049795@gmail.com

Куралов Улан – «Құрылыс және құрылыс материалдары» кафедрасының Ph.D студенті, Сәтбаев Университеті, Алматы, Қазақстан, ulan@mail.ru

Altigenov Ulan – PhD student of Civil Engineering department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, ulanbek_666@mail.ru

Tulebekova Assel – PhD, Associate Professor of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, krasavka5@mail.ru,

Akhazhanov Sungat – PhD, Associate Professor, T.G. Mustafin Algebra, Mathematical Logic and Geometry Department, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan, stjg@mail.ru

Kazhimkanuly Dias – PhD student of Civil Engineering department, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, dias27049795@gmail.com

Kuralov Ulan – Ph.D. student of Construction and Building Materials Department, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan, ulan@mail.ru

Н.Ж.Жумадилова¹, А.Т.Мухамеджанова², В.С.Портнов³,
Т.Т. Мусабаев⁴, Е.П. Шин⁵

¹Кагарандинский Технический Университет имени Абылкаса Сагинова,
Караганда, Казахстан

²Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан
e-mail: n-j-93@mail.ru

Геофизические исследования участка русла реки Есиль и оценка устойчивости откосов плотины

Аннотация. На основании требований действующих нормативных документов на территории Казахстана необходимо проводить периодический контроль за состоянием техногенных и инженерных сооружений. Система обеспечения контроля учитывает основные принципы, понятия и методы применительно к специфике объектов и параметров технического контроля, а также особенностям внедрения новых технологий и соответственно разработки новой методики для оценки состояния объекта исследования. Цель данной работы заключается в проведении комплексного исследования гидротехнических сооружений с использованием инновационного оборудования и подходов. В частности, основные задачи работы:

Определение и оценка технического состояния ограждающих дамб на основе результатов натурных наблюдений, инструментальных измерений и расчетных показателей. Это позволит оценить текущее состояние сооружений и выявить возможные деформации или повреждения.

Анализ влияния разнообразных нагрузок, включая постоянные, динамические и временные, на напряженно-деформированное состояние дамбы. Это позволит определить, как различные факторы воздействуют на инженерные конструкции и какие изменения могут происходить в долгосрочной перспективе.

Разработка рекомендаций по обеспечению надежности, безопасности и функциональной пригодности исследуемых гидротехнических конструкций. Эти рекомендации будут основываться на комплексном анализе и предоставят практические решения для поддержания структурной целостности и эффективности сооружений.

Научная новизна данной работы состоит в применении современных методов геофизических исследований и инновационного оборудования для технической оценки гидротехнических сооружений. Это открывает новые возможности для улучшения точности и надежности оценки состояния сооружений в условиях быстро меняющейся среды.

Ключевые слова: гидротехнические сооружения, геофизические методы, георадиолокация, грунты, аномальные зоны, подпорная стена.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-83-97

1. Введение

Исследования в области гидротехнических сооружений играют ключевую роль в обеспечении надежности, безопасности и функциональности инфраструктуры в условиях постоянно меняющейся природной среды и технологического прогресса. Для комплексного анализа напряженно-деформированного состояния гидротехнических сооружений

применяются разнообразные методы и технологии, включая георадиолокацию. В данном введении рассмотрены исследования, охватывающие применение георадиолокации и георадаров в анализе грунтовых и гидротехнических условий.

Одним из важных направлений исследований является применение георадиолокации при решении задач инженерной геофизики. В диссертационной работе Ефимовой Н.Н. представлены основы использования этого метода для анализа геологических структур [1].

Геофизические методы исследования также играют важную роль в изучении криолитозоны, как указано в работе [2], где рассматриваются методы анализа зон мерзлотных образований.

Разнообразные исследования в области георадиолокации проводились для обнаружения подземных структур и каверн в различных геологических условиях. Brewster M.L. и Annap A.P. исследовали мониторинг подземных разливов контролируемых веществ с помощью георадара [3]. Casas A. и другие ученые использовали георадар для выявления карстовых полостей в различных геологических средах в Испании [4].

Для высокоразрешающего маппинга геологической стратиграфии грунта и пород успешно применялись методы георадиолокации, как показали исследования [5]. Также Davis J.L. и другие исследователи провели поверхностные и буронабивные георадиолокационные исследования для картографирования геологической структуры [6].

Применение георадиолокации распространяется не только на сушу, но и на морские пространства. Например, георадар использовали для измерения толщины морского льда [7-9].

Также георадары находят свое применение в разнообразных геологических исследованиях. Размеры и формы частиц грунта влияют на георадарные волны [10-12]. Brown J. и соавторы применили георадары для оценки плотности снега на Гренландском леднике [13].

Исследования георадиолокации также находят применение в инженерных задачах. Например, применение георадиолокации для анализа состояния земляных откосов и защитных конструкций рассматривается в данной работе. Для обеспечения стойкости и безопасности гидротехнических сооружений в условиях современных вызовов и потребностей необходимо внедрение инновационных методов и технологий, основанных на георадиолокации.

В данной работе рассматривается исследование участка водоподпорной плотины, представленной на рисунке 3, с использованием различных методов георадиолокации и георадаров. В особенности, учитываются грунтовые воды, химический состав и режим подземных вод, а также анализ конструкций для защиты от размыва и выноса. Результаты данного исследования могут оказать существенное влияние на обеспечение структурной целостности и безопасности гидротехнических сооружений. [14,15].

2. Методика исследования

Участок проектируемого объекта расположен на месте слияния правого рукава реки Ишим с левым рукавом к западу от острова в районе завода газовой аппаратуры. (см. рисунок 1)

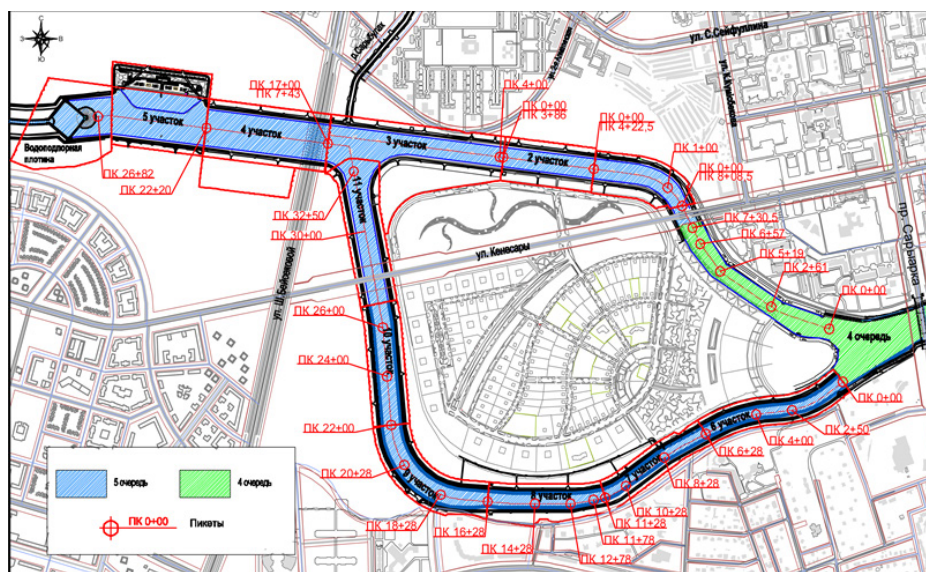


Рисунок 1. Схема участков русла реки Есиль

Часть участка русла проходит под мостом по ул. Бейсекова, где в верхней части (по течению реки) сливаются два проектируемых рукава реки, участки №3 и №11. Ниже (по течению реки) рассматриваемого участка русла расположен проектируемый участок №5.

Инженерно-геологические изыскания характеристики грунтов

По результатам камеральной обработки полевой документации буровых скважин и результатов лабораторных испытаний, отобранных проб, в разрезе участка изысканий выделен один инженерно-геологический элемент (см.рисунок 2).

Современные верхнечетвертичные отложения (tQ_{IV})

ИГЭ 0 – почвенно-растительный слой. Мощность слоя 0,2 м.

ИГЭ 0-1 – насыпные грунты – суглинок черного цвета полутвердой консистенции, перемешанный со строительным мусором. Не слежавшийся – менее 5 лет. Мощность слоя $0,8 \div 1,7$ м.

Аллювиально-пролювиальные среднечетвертичные отложения (apQ_{II-III})

ИГЭ 1-1 – глина черного цвета полутвердой консистенции, заиленная (содержание органических примесей до 9,62%). Мощность слоя 0,8м.

ИГЭ 1 – суглинок коричневого цвета от твердой до полутвердой консистенции, с прослоями песка мелкого, насыщенного водой. Мощность слоя $0,8 \div 1,5$ м.

ИГЭ 2 – суглинок коричневого цвета от тугопластичной до мягкопластичной консистенции, с прослоями песка мелкого, насыщенного водой. Мощность слоя $2,0 \div 5,5$ м.

Аллювиальные средне-верхнечетвертичные отложения (aQ_{II-III})

ИГЭ 3 – песок средней крупности, полимиктового состава, средней плотности, насыщенный водой. Мощность слоя $1,4 \div 3,9$ м.

ИГЭ 4 – песок гравелистый, полимиктового состава, средней плотности, насыщенный водой. Мощность слоя $1,5 \div 7,7$ м.

Элювиальные мезозойские отложения (eMz).

ИГЭ 5 – суглинок пестроцветный твердой консистенции. Полная мощность слоя скважинами глубиной 15,0 м не вскрыта. Вскрытая мощность слоя $4,8 \div 6,5$ м.

Грунты, слагающие верхний горизонт разреза, повсеместно подвержены морозному пучению.

Грунты, слагающие верхний горизонт разреза, повсеместно недоуплотнены. Коэффициент уплотнения составляет от 0,61 до 0,93.

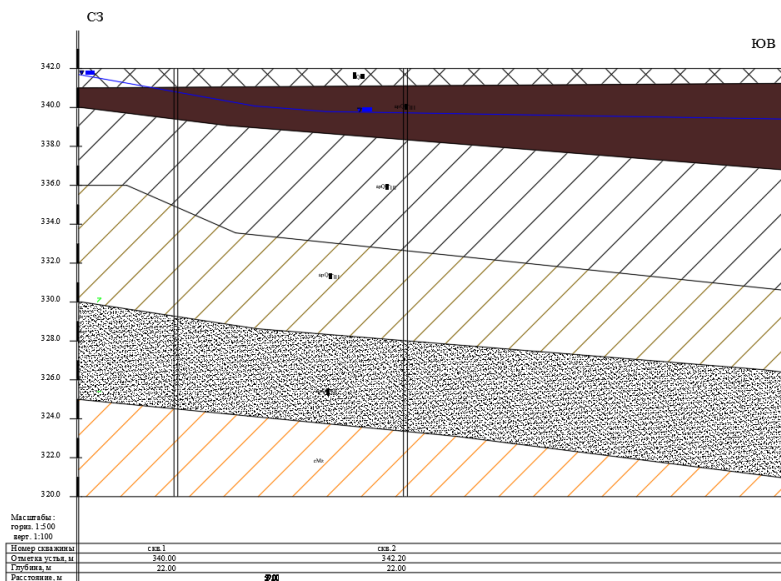


Рисунок 2. Инженерно-геологический разрез участка

Изучение структуры, формы и размеров залежей

Проектируемый отрезок русла реки общей длиной – 520 м, расположен в зоне слияния рукавов реки Ишим к западу от острова, где размещается завод газовой аппаратуры. В верхнем течении проектируемый участок граничит с участками №3 и №11, в нижнем – с участком № 5. Все указанные участки расположены в зоне острова и относятся к 5-ой очереди реконструкции русла р. Есиль.

Основными сооружениями проектируемого участка являются собственно русло реки и набережные. Русло реки сформировано в виде грунтового канала трапециевидальной формы с береговым откосом, устроенным с заложением откосов $m_1=2,5$ по правому берегу. По левому берегу набережная реки запроектирована в виде подпорных стен, образующих причальный фронт будущей базы речного порта. Основное функциональное назначение русла - пропуск паводковых вод с расчетным расходом - 703 м³/сек.

Подземные воды (типа верховодки) на исследуемом участке, вскрыты всеми скважинами. Установившийся уровень грунтовых вод 1,2÷3,6м. Абсолютные отметки установившегося уровня 340,30÷342,20 м. Распространение грунтовых вод носит спорадический характер.

В четвертичных глинистых отложениях водоносный горизонт приурочен к линзам и прослоям песка, в мезозойских отложениях к системе трещин и линзам дресвы.

Грунтовые воды безнапорные, в условиях естественного режима уровень грунтовых вод подвержен сезонным колебаниям: ожидаемый максимальный подъем уровня грунтовых вод в паводковый период (начало мая), минимальный конец января начало февраля. Максимальный уровень грунтовых вод в весенний период следует принять на 1,5 м выше замеренного в период изысканий (август 2017 г.).

Тип режима подземных вод – пойменный, основное питание подземные воды получают за счет инфильтрации атмосферных осадков и в весенний период за счет поглощения паводкового стока, а также за счет подтока трещиновых вод.

Величины коэффициентов фильтрации грунтов приведены в ведомости физико – механических свойств грунтов.

По химическому составу подземные воды сульфатно-хлоридные и хлоридно-сульфатные натриевые, с минерализацией 3712÷5351 мг/л, очень жесткие, среднеминерализованные, реакция среды по pH от кислой до слабощелочной.

В состав крепления, применяемого для защиты земляного откоса, входят четыре конструктивных частей (см. рисунок 3):

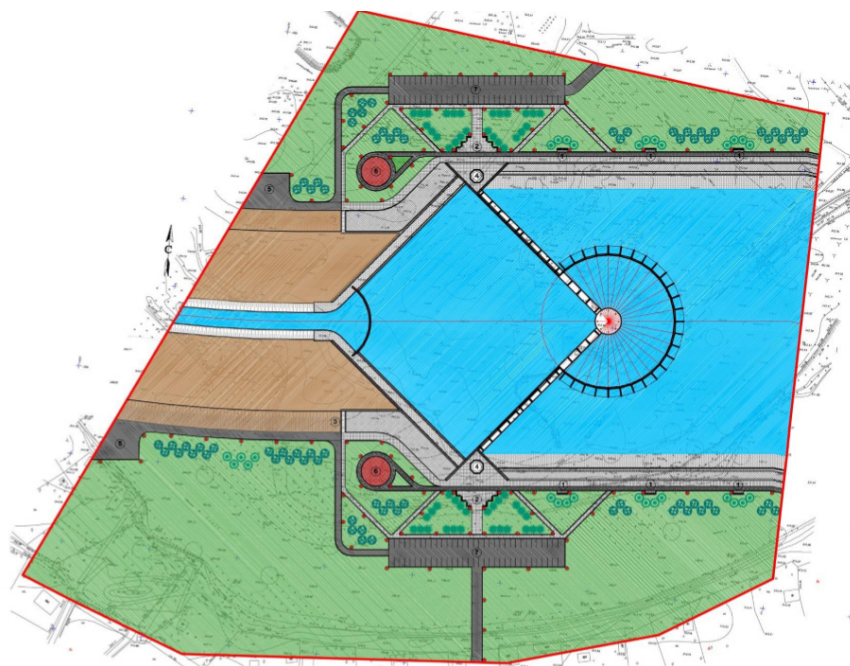


Рисунок 3. Участок водоподпорной плотины

- основное покрытие (крепление), защищающее земляной откос в зоне наиболее интенсивного механического действия волн, льда и других факторов, могущих вызвать его размыв;
- переходная часть в виде подготовки из обратного фильтра, которая служит главным образом для сопряжения покрытия с земляным откосом, для защиты от выноса (суффозии) частиц грунта откоса;
- облегченное крепление или покрытие с соответствующей подготовкой на откосе и дне в зоне ослабленных механических влияний действующих факторов;
- упор внизу основного крепления для предотвращения сползания покрытия по откосу и сопряжения основного крепления на дне или на откосе. Поперечные профили по характерным участкам представлены на рисунке 4.

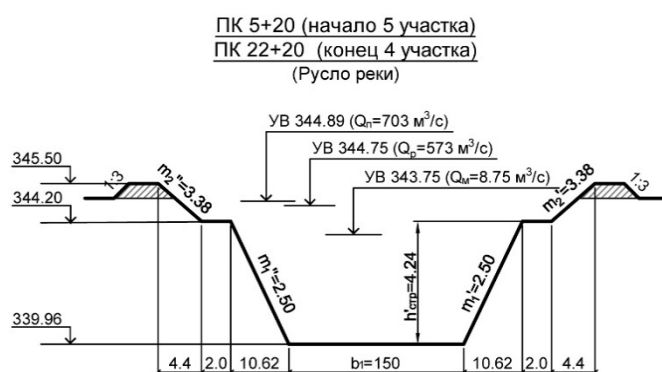


Рисунок 4. Поперечный профиль по характерным участкам

Здесь ПК 0+00(начало участка) - номер пикета по участку; ПК 17+00 (конец 3 участка) - номер пикета по гидравлическим расчетам.

Гидротехнические мероприятия. В рамках реализации проекта по инженерной защите территории города Астана от затопления паводковыми водами, меженный уровень воды реки Есиль в границах города зарегулирован на абсолютной отметке 343,75. На проектируемом отрезке ширина русла по дну после его реконструкции составляет - 150 м, глубина русла - 4,18-4,24 м.

Методика георадиолокации основана на излучении и регистрации электромагнитных волн в радио и микроволновом диапазоне, регистрации волн, отраженных от различных объектов подповерхностной среды.

Передающая антенна георадара позволяет излучать в исследуемую среду результаты измерений, полученные георадарным методом, содержат нежелательные сигналы (помехи), вызванные природными и техногенными факторами. Все возможные источники помех, присутствующие во время зондирования, должны быть отмечены и документированы. Влияние этих источников помех должно быть учтено при обработке и интерпретации данных. Фундаментальное ограничение, присущее всем геофизическим методам, заключается в том, что полученный набор данных зондирования не всегда достаточен для полной характеристики подповерхностных объектов. Для обеспечения достоверности и точности интерпретации результатов георадарного зондирования проводятся параметрические измерения на опорных (ключевых) участках, на которых осуществляется изучение геологической среды с использованием комплекса других видов работ (бурения скважин, проходки шурфов, зондирования с определением характеристик грунтов в полевых и лабораторных условиях).

Электромагнитные импульсы, которые отражаются от находящихся в ней предметов или любых неоднородностей, имеющих отличную от среды диэлектрическую проницаемость или проводимость.

Георадарный метод по глубине зондирования и разрешению зависит от характеристик грунта. Из-за высокого поглощения радиоволн применение георадарного метода нецелесообразно в морской воде, сильно засоленных грунтах, во влажных глинистых грунтах, содержащих глинистые минералы с высокой проводимостью. Для обнаружения объекта георадарным методом необходимо, чтобы объект заметно отличался от вмещающего грунта по электрическим характеристикам (по диэлектрической проницаемости или проводимости).

Левобережный железобетонный откос со стороны верхнего бьефа; 2. грунтовая площадка на поверхности гидроузла в правобережном примыкании; 3. участок донной части гидроузла от 6-го бычка до правобережного откоса (включая часть самого правобережного откоса); 4. участок донной части гидроузла, примыкающей к левобережному откосу со стороны верхнего бьефа от 3-го бычка; 5. участок донной части гидроузла верхнего бьефа перед началом всех 7 (семи) бычковыми пролетами; 6. участок донной части гидроузла под всеми 7 (семью) бычковыми пролетами. План-схема расположения георадарных профилей представлена на рисунках 5-6.

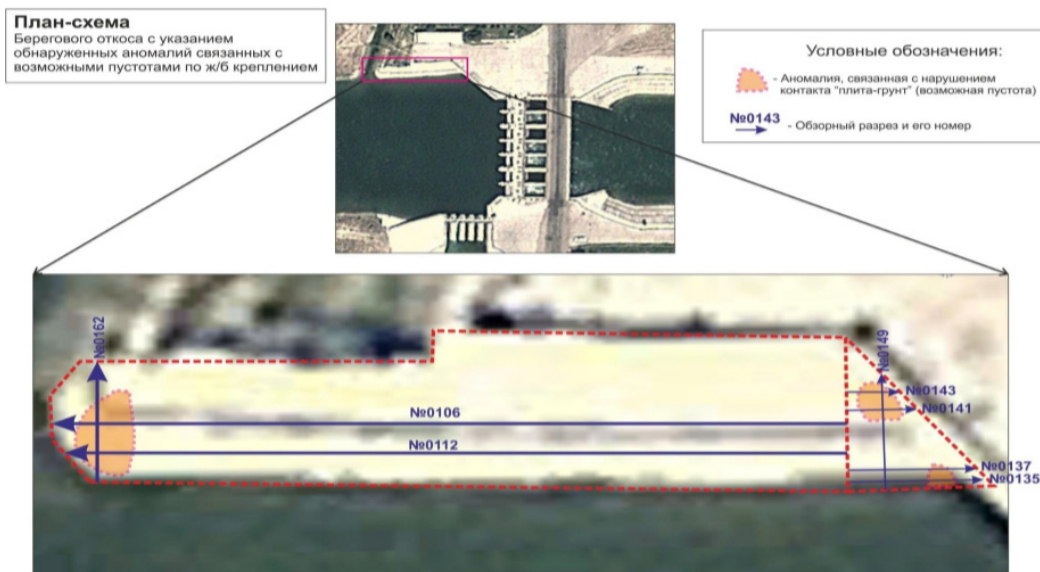


Рисунок 5. План- схема расположения георадарных профилей

На План-схеме Красной пунктирной линией обозначен контур откоса с ж\б креплениями. Синими стрелками и цифрами обозначены георадарные профили, по которым были выявлены аномальные зоны. Сами аномальные участки выделены коричневыми пятнами. Таких участка 3. Выявленные аномальные участки связаны с разуплотнением грунта под ж\б откосом или даже возможно с образовавшимися пустотами под плитами.

На План-схеме Красной точечной линией обозначен контур участка левобережного примыкания, который был исследован. (см.рисунок 6). Синими стрелками и цифрами обозначены георадарные профили. Красным прямоугольником обозначен участок, на котором были складированы металлические конструкции. На участке левобережного примыкания аномальных зон не выявлено.

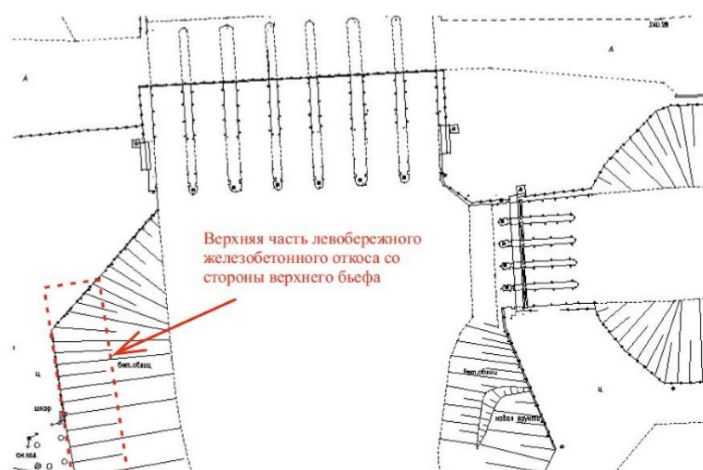


Рисунок 6. Участок железобетонного откоса со стороны верхнего бьефа

Геологическая привязка георадарных комплексов

Изучение геологического (в широком смысле) строения верхней части разреза методом георадиолокации проводится в два этапа. Первый этап заканчивается

расчленением разреза на георадарные комплексы и фации. На втором этапе необходимо выяснить их литологический состав, мощности и положение уровня грунтовых вод, для чего, как правило, используются данные бурения. Если они отсутствуют, привязка может осуществляться по имеющимся в районе работ обнажениям и по разрезам шурфов. Однако даже при наличии скважин на профиле возникает ряд проблем, одной из которых является определение скоростей распространения электромагнитных волн, необходимых для пересчета из временного в глубинный масштаб.

Результаты и дискуссия

Результаты данных геофизического исследования.

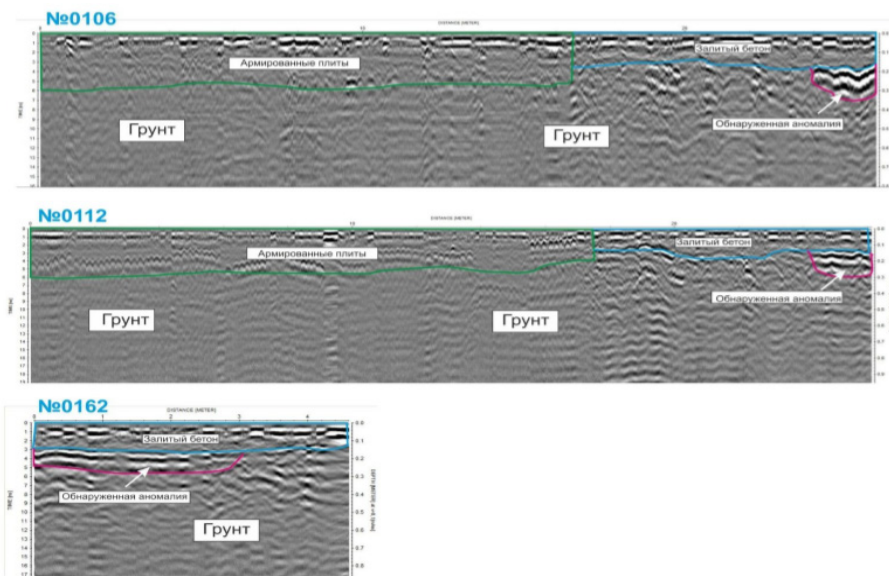


Рисунок 7. Обзорные разрезы георадарного профиля

Здесь представлены результаты георадарной съемки – обзорные разрезы на рисунке 7 (на План-схеме см.рисунок 8) это георадарные профили. На разрезах зеленой и синей линиями показаны границы слоев ж/б плиты с грунтом. Белой стрелкой указаны обнаруженные аномальные зоны. На План-схеме обнаруженные и ооконтуренные аномальные зоны указаны коричневыми пятнами.

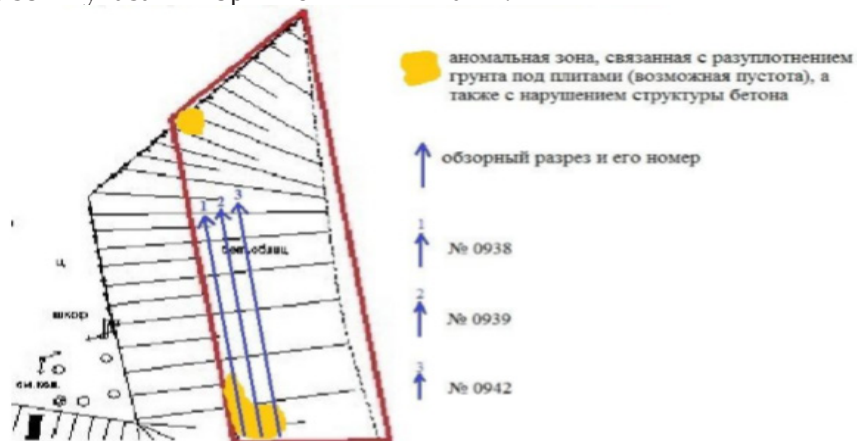


Рисунок 8. Участки аномальных зон по результатам георадарной съемки

На План-схеме Красной линией обозначен участок откоса, которой был исследован. Синими стрелками и цифрами обозначены георадарные профили, по которым были выявлены аномальные зоны. Сами аномальные участки выделены коричневыми пятнами. Таких участков 2. Выявленные аномальные участки связаны с разуплотнением грунта под ж/б креплениями (возможные пустоты) и нарушенной структурой бетона.

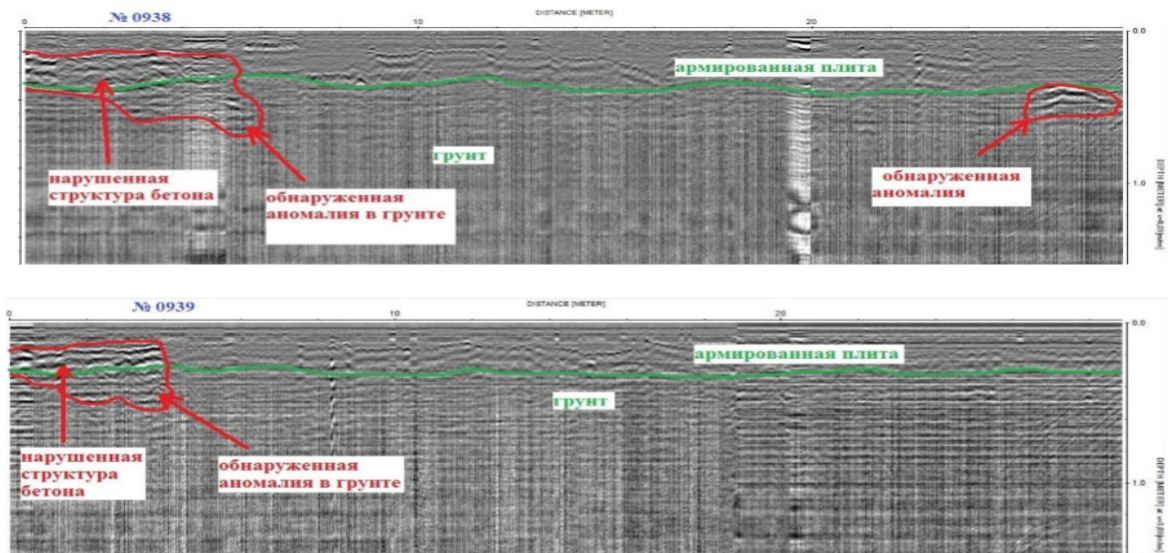


Рисунок 9. Георадарный профили с участками аномальных зон по глубине

На рисунке 9 представлены результаты георадарной съемки – обзорные разрезы (на План-схеме это георадарные профили). На разрезах зеленой линией показаны границы слоев ж/б плиты с грунтом. Красной стрелкой указаны обнаруженные аномальные зоны. На План-схеме обнаруженные и ооконтуренные аномальные зоны указаны коричневыми пятнами.

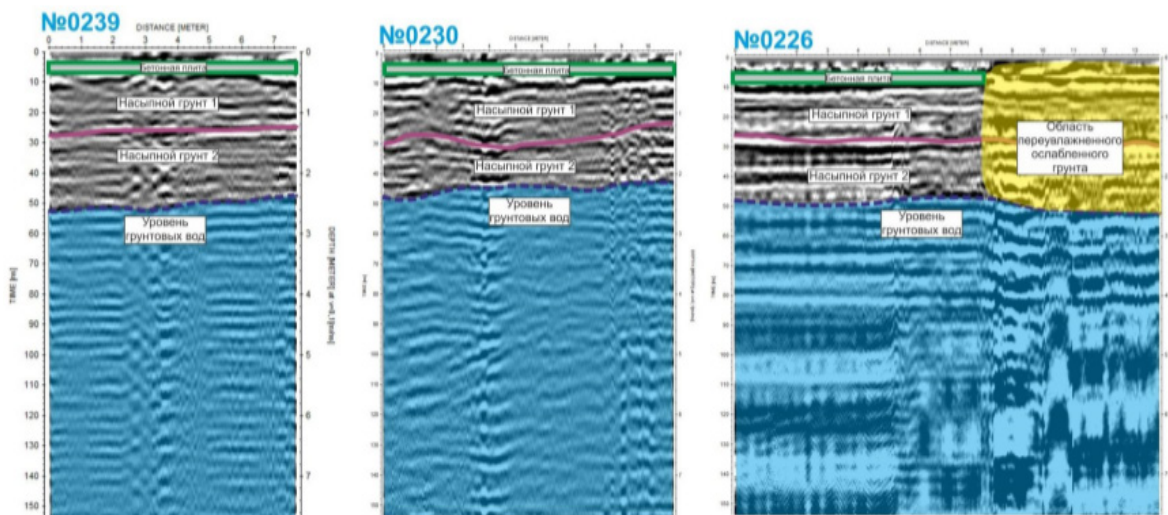


Рисунок 10. Георадарные профили в месте примыкания грунта к бетонной стене гидроузла с участками аномальных зон по глубине

Здесь представлены результаты георадарной съемки – обзорные разрезы см. рисунок 10 (на План-схеме это георадарные профили). На разрезах синей линией показан уровень

залегания грунтовых вод. Зеленой линией (полоской) указана граница слоев ж/б плиты с насыпным грунтом. Желтым пятном на разрезе №0226 указана обнаруженная аномальная зона, связанная с областью переувлажнённого ослабленного грунта.

Представлены результаты георадарной съемки – обзорные разрезы (на План-схеме это георадарные профили см.рисунок 11). На разрезах синей линией показан уровень залегания грунтовых вод. Зеленой линией (полоской) указана граница слоев ж\б плиты с насыпным грунтом. Желтым пятном на разрезе №0218 указана обнаруженная аномальная зона, связанная с областью переувлажнённого ослабленного грунта.

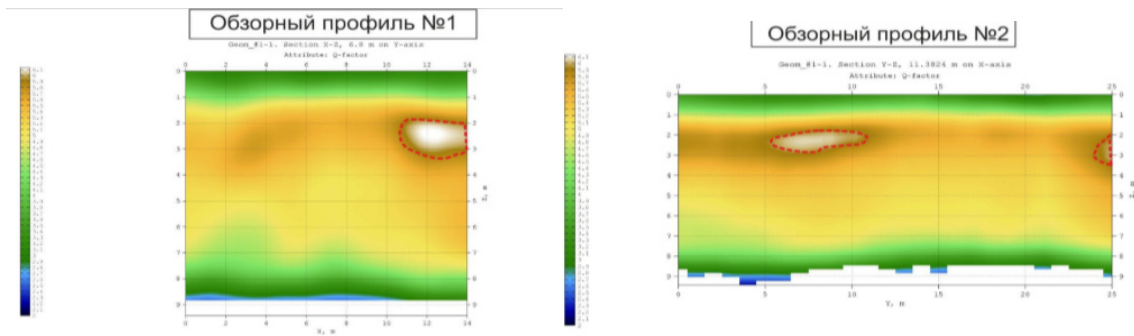


Рисунок 11. Обзорные профили 1 и 2

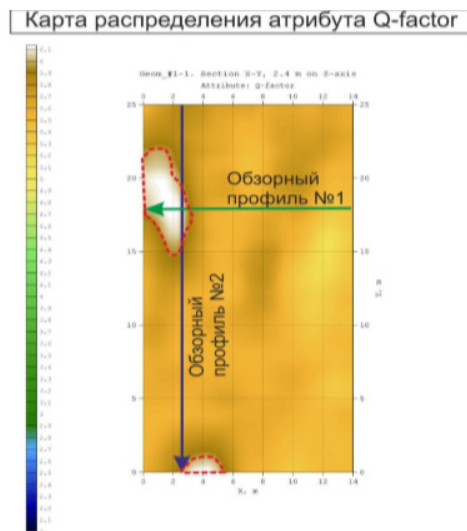


Рисунок 12. Карта распределения атрибута

На План-схеме (см. рисунок 12) Красной линией обозначен участок, который был исследован. Синими и зелеными стрелками обозначены георадарные профили, по которым были выявлены аномальные зоны. Сами аномальные участки выделены пятнами.

4. Выводы

Для определения фактического технического состояния строительных конструкций подпорной стены был осуществлён визуальный и инструментальный осмотр.

Основной причиной возникновения деформаций откосов канала послужило нарушение структуры пород с наличием структурных ослаблений по контактам слабосвязанных пород под влиянием фильтрационных потоков грунтовых вод. Грунтовые воды, питающие канал, выклиниваясь в борта канала, образуют в них выпоры в виде

оплывин в состоянии «истинных» пльвунов. При быстром снижении уровня воды в канале на его откос оказывают давление грунтовые воды, уровни которых понижаются с меньшей скоростью, чем в канале. Давление на откос измеряется указанной разностью уровней, под его воздействием происходит выпор грунта у основания откоса с последующим его оползанием.

В результате общего (сплошного) и детального инструментального обследования каких-либо дефектов и повреждений, влияющих на эксплуатационную надежность откосов канала, не выявлено. Техническое состояние канала оценено как удовлетворительное.

Список литературы

1. Ефимова Н.Н. Применение георадиолокации при решении задач инженерной геофизики. Автореферат дисс. канд. техн. наук, 1999, СПб, с.16.
2. Зыков Ю.Д. Геофизические методы исследования криолитозоны. 1999, Изд-во МГУ, с. 244.
3. Brewster M.L., Annan A.P. Ground-penetrating radar monitoring of a controlled DNAPL release: 200 MHz radar. *Geophysics*, 1994, vol. 59, № 8, p. 1211-1221.
4. Casas A., Lazaro R., Vilas M., Busquet E. Detecting karstic cavities with ground penetrating Radar at different geological environments in Spain. 1996, 6th International conference on Ground Penetrating Radar (GPR'96), p. 455-460.
5. Davis J.L., Annan A.P. Ground-penetrating Radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 1989, 37, p. 531-551.
6. Davis J.L., Killely R.W.D., Annan A.P., Vanghan C. Surface and Borehole Ground-Penetrating Radar Surveys for Mapping Geological Structure. NWWA/EPA, conf., 1984, San-Antonio, Texas, Feb.7-9, pp.681-712. 28. Jol H.M.,
7. Young R., Fisher T.G., Smith D.G., Meyers R.A. Ground penetrating radar of eskers, kame terraces, and moraines: Alberta and Saskatchewan, Canada. 1996, 6th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR'96), Sendai, Japan, p. 439-443.
8. Анур А., Старовойтов А.В., Владов М.Л. Опыт применения георадиолокации для выявления зон развития провалов в городе // Вестник МГУ. Сер. 4. Геология. 1999. № 5. С. 55-57.
9. Marcin Słowik . GPR and aerial imageries to identify the recent historical course of the Obra River and spatial extent of Obrzan' skie Lake, altered by hydro-technical works *Environ Earth Sci* (2013) 70:1277–1295.
10. Gabrys, M and Ortyl, L «Georeferencing of Multi-Channel GPR-Accuracy and Efficiency of Mapping of Underground Utility Networks» *REMOTE SENSING JOURNAL* Received: 30 July 2020; Accepted: 8 September 2020; Published: 11 September 2020;
11. P. A. Morozov¹, A. I. Berkut, P. L. Vorovsky, F. P. Morozov, and S. V. Pisarev. Measuring sea ice thickness with the LOZA georadar *russian journal of earth sciences*, vol. 21, ES4003, doi: 10.2205/2021ES000767, 2021
12. Julien Guillemoteau, Maksim Bano and Jean-Remi Dujardin: Influence of grain size, shape and compaction on georadar waves: examples of aeolian dunes, *Geophysical Journal International*. Int. (2012) 190, 1455–1463
13. Joel Brown, 1, 2 John Bradford, 1Joel Harper, 2W. Tad Pfeffer, 3Neil Humphrey, 4and Ellen Mosley-Thompson - Georadar-derived estimates of firn density in the percolation zone, western Greenland ice shee *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 117, F01011, doi:10.1029/2011JF002089, 2012
14. Rudolf S. Sanzharovskiy, Frieder Sieber, Tatyana N. Ter-Emmanuilyan The theory of calculation of reinforced concrete structures and the principles of the Eurocode Structural Mechanics of Engineering *Constructions and Buildings* 2021. 17(5). 455–465
15. Talal Awwad, Turlybek Mussabayev, Assel Tulebekova, Atogali Jumabayev Development of the computer program of calculation of concrete bored piles in soil ground of Astana city *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATE*, VOL.17, ISSUE 602019, DOI: <https://doi.org/10.21660/2019.60.17339> ISSN: 2186-2982 (Print), 176-182.

Есіл өзені арнасының учаскесін геофизикалық зерттеу және бөгет беткейлерінің тұрақтылығын бағалау

Н.Ж.Жумадилова¹, А.Т.Мухамеджанова², В.С.Портнов³, Т.Т.Мусабаев⁴, Е.П. Шин⁵

¹Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

²Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қаласы, Қазақстан

E-mail: n-j-93@mail.ru

Аңдатпа. Қазақстан аумағында қолданыстағы нормативтік құжаттардың талаптарын негізге ала отырып, техногендік және инженерлік құрылыстардың жай-күйіне мерзімдік мониторинг жүргізу қажет. Басқару жүйесі объектілердің ерекшеліктеріне және техникалық бақылау параметрлеріне қатысты негізгі принциптерді, ұғымдар мен әдістерді, сондай-ақ жаңа технологияларды енгізу ерекшеліктерін және сәйкесінше жағдайды бағалаудың жаңа әдістемесін әзірлеуді ескереді. зерттеу объектісі. Бұл жұмыстың мақсаты – инновациялық жабдықтар мен тәсілдерді пайдалана отырып, гидротехникалық құрылыстарды кешенді зерттеу. Атап айтқанда, жұмыстың негізгі міндеттері: Далалық бақылаулардың, аспаптық өлшеулердің және есептік көрсеткіштердің нәтижелері бойынша қоршау бөгеттерінің техникалық жағдайын анықтау және бағалау. Бұл құрылымдардың ағымдағы жағдайын бағалауға және ықтимал деформацияларды немесе зақымдарды анықтауға мүмкіндік береді. Бөгеттің кернеулі-деформациялық күйіне тұрақты, динамикалық және уақытша қоса алғанда әртүрлі жүктемелердің әсерін талдау. Бұл әртүрлі факторлардың инженерлік құрылымдарға қалай әсер ететінін және ұзақ мерзімді перспективада қандай өзгерістер болуы мүмкін екенін анықтауға мүмкіндік береді. Зерттелетін гидротехникалық құрылыстардың сенімділігін, қауіпсіздігін және функционалдық жарамдылығын қамтамасыз ету бойынша ұсыныстар әзірлеу. Бұл ұсыныстар кешенді талдауға негізделеді және нысандардың құрылымдық тұтастығы мен тиімділігін сақтау үшін практикалық шешімдерді ұсынады. Бұл жұмыстың ғылыми жаңалығы қазіргі заманғы геофизикалық зерттеу әдістерін және гидротехникалық құрылыстарды техникалық бағалауға арналған инновациялық жабдықтарды қолдануда. Бұл тез өзгеретін ортада құрылымдық жағдайды бағалаудың дәлдігі мен сенімділігін арттырудың жаңа мүмкіндіктерін ашады.

Түйін сөздер: гидротехникалық құрылыстар, геофизикалық әдістер, жерге енетін радиолокациялар, топырақтар, аномальды аймақтар, тірек қабырға.

Әдебиеттер тізімі

1. Ефимова Н.Н. Инженерлік геофизика есептерін шешуде жерге енетін радиолокацияны қолдану. Диссертация авторефераты. Ph.D. техника. Ғылымдар, 1999, Санкт-Петербург, 16 б.
2. Зыков Ю.Д. Мәңгілік тоң аймақты зерттеудің геофизикалық әдістері. 1999, Мәскеу мемлекеттік университетінің баспасы, б. 244.
4. Casas A., Lazaro R., Vilas M., Busquet E. Detecting karstic cavities with ground penetrating Radar at different geological environments in Spain. 1996, 6th International conference on Ground Penetrating Radar (GPR'96), p. 455-460.
5. Davis J.L., Annan A.P. Ground-penetrating Radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. Geophysical Prospecting, 1989, 37, p. 531-551.
6. Davis J.L., Killely R.W.D., Annan A.P., Vanghan C. Surface and Borehole Ground-Penetrating Radar Surveys for Mapping Geological Structure. NWWA/EPA, conf., 1984, San-Antonio, Texas, Feb.7-9, pp.681-712. 28. Jol H.M.,
7. Young R., Fisher T.G., Smith D.G., Meyers R.A. Ground penetrating radar of eskers, kame terraces, and moraines: Alberta and Saskatchewan, Canada. 1996, 6th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR'96), Sendai, Japan, p. 439-443.
8. Анур А., Старовойтов А.В., Владов М.Л. Қаладағы шұңқырларды дамыту аймақтарын анықтау үшін георадарды пайдалану тәжірибесі // Мәскеу мемлекеттік университетінің хабаршысы. Сер. 4. Геология. 1999. No 5. 55-57-беттер.
9. Marcin Słowik. GPR and aerial imageries to identify the recent historical course of the Obra River and spatial extent of Obrzan' skie Lake, altered by hydro-technical works Environ Earth Sci (2013) 70:1277–1295.

10. Gabrys, M and Ortyl, L «Georeferencing of Multi-Channel GPR-Accuracy and Efficiency of Mapping of Underground Utility Networks» REMOTE SENSING JOURNAL Received: 30 July 2020; Accepted: 8 September 2020; Published: 11 September 2020;

11. P. A. Morozov¹, A. I. Berkut, P. L. Vorovsky, F. P. Morozov, and S. V. Pisarev. Measuring sea ice thickness with the LOZA georadar russian journal of earth sciences, vol. 21, ES4003, doi: 10.2205/2021ES000767, 2021

12. Julien Guillemoteau, Maksim Bano and Jean-Remi Dujardin: Influence of grain size, shape and compaction on georadar waves: examples of aeolian dunes, Geophysical Journal International. Int. (2012) 190, 1455–1463

13. Joel Brown, 1, 2 John Bradford, 1 Joel Harper, 2 W. Tad Pfeffer, 3 Neil Humphrey, 4 and Ellen Mosley-Thompson - Georadar-derived estimates of firm density in the percolation zone, western Greenland ice sheet JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH, VOL. 117, F01011, doi:10.1029/2011JF002089, 2012

14. Rudolf S. Sanzharovskiy, Frieder Sieber, Tatyana N. Ter-Emmanuilyan The theory of calculation of reinforced concrete structures and the principles of the Eurocode Structural Mechanics of Engineering Constructions and Buildings 2021. 17(5). 455–465

15. Talal Awwad, Turlybek Mussabayev, Assel Tulebekova, Atogali Jumabayev Development of the computer program of calculation of concrete bored piles in soil ground of Astana city INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATE, VOL.17, ISSUE 602019, DOI: <https://doi.org/10.21660/2019.60.17339> ISSN: 2186-2982 (Print), 176-182.

Geophysical studies of a section of the Yesil River bed and assessment of the stability of the dam slopes

N.Zh.Zhumadilova¹, A.T.Mukhamedzhanova², V.S.Portnov³, T.T. Musabaev⁴, E.P. Shin⁵

¹Kagaramda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan

²Eurasian National University. L.N. Gumilyov, Astana, Kazakhstan

Abstract. Based on the requirements of current regulatory documents on the territory of Kazakhstan, it is necessary to carry out periodic monitoring of the condition of man-made and engineering structures. The control system takes into account the basic principles, concepts and methods in relation to the specifics of objects and technical control parameters, as well as the peculiarities of the introduction of new technologies and, accordingly, the development of a new methodology for assessing the condition of the research object. The purpose of this work is to conduct a comprehensive study of hydraulic structures using innovative equipment and approaches. In particular, the main tasks of the work: Determination and assessment of the technical condition of enclosing dams based on the results of field observations, instrumental measurements and calculated indicators. This will allow you to assess the current condition of the structures and identify possible deformations or damage. Analysis of the influence of various loads, including permanent, dynamic and temporary, on the stress-strain state of the dam. This will allow us to determine how different factors affect engineering structures and what changes may occur in the long term. Development of recommendations to ensure reliability, safety and functional suitability of the hydraulic structures under study. These recommendations will be based on comprehensive analysis and provide practical solutions to maintain the structural integrity and efficiency of facilities. The scientific novelty of this work lies in the use of modern geophysical research methods and innovative equipment for the technical assessment of hydraulic structures. This opens up new opportunities to improve the accuracy and reliability of structural condition assessment in a rapidly changing environment.

Keywords: hydraulic structures, geophysical methods, ground penetrating radar, soils, anomalous zones, retaining wall.

References

1. Efimova N.N. Application of ground penetrating radar in solving problems of engineering geophysics. Abstract of dissertation. Ph.D. tech. Sciences, 1999, St. Petersburg, p. 16.
2. Zykov Yu.D. Geophysical methods for studying the permafrost zone. 1999, Moscow State University Publishing House, p. 244.
4. Casas A., Lazaro R., Vilas M., Busquet E. Detecting karstic cavities with ground penetrating Radar

at different geological environments in Spain. 1996, 6th International conference on Ground Penetrating Radar (GPR'96), p. 455-460.

5. Davis J.L., Annan A.P. Ground-penetrating Radar for high-resolution mapping of soil and rock stratigraphy. *Geophysical Prospecting*, 1989, 37, p. 531-551.

6. Davis J.L., Killely R.W.D., Annan A.P., Vanghan C. Surface and Borehole Ground-Penetrating Radar Surveys for Mapping Geological Structure. NWWA/EPA, conf., 1984, San-Antonio, Texas, Feb.7-9, pp.681-712. 28. Jol H.M.,

7. Young R., Fisher T.G., Smith D.G., Meyers R.A. Ground penetrating radar of eskers, kame terraces, and moraines: Alberta and Saskatchewan, Canada. 1996, 6th International Conference on Ground Penetrating Radar (GPR'96), Sendai, Japan, p. 439-443.

8. Anur A., Starovoitov A.V., Vladov M.L. Experience in using georadar to identify sinkhole development zones in the city // *Bulletin of Moscow State University. Ser. 4. Geology*. 1999. No. 5. P. 55-57.

9. Marcin Słowik. GPR and aerial imageries to identify the recent historical course of the Obra River and spatial extent of Obrzan'skie Lake, altered by hydro-technical works *Environ Earth Sci* (2013) 70:1277–1295.

10. Gabrys, M and Ortyl, L «Georeferencing of Multi-Channel GPR-Accuracy and Efficiency of Mapping of Underground Utility Networks» *REMOTE SENSING JOURNAL* Received: 30 July 2020; Accepted: 8 September 2020; Published: 11 September 2020;

11. P. A. Morozov, A. I. Berkut, P. L. Vorovsky, F. P. Morozov, and S. V. Pisarev. Measuring sea ice thickness with the LOZA georadar *russian journal of earth sciences*, vol. 21, ES4003, doi: 10.2205/2021ES000767, 2021

12. Julien Guillemoteau, Maksim Bano and Jean-Remi Dujardin : Influence of grain size, shape and compaction on georadar waves: examples of aeolian dunes , *Geophysical Journal International. Int.* (2012) 190, 1455–1463

13. Joel Brown,1,2John Bradford,1Joel Harper,2W. Tad Pfeffer,3Neil Humphrey,4and Ellen Mosley-Thompson - Georadar-derived estimates of firn density in the percolation zone, western Greenland ice sheet *JOURNAL OF GEOPHYSICAL RESEARCH*, VOL. 117, F01011, doi:10.1029/2011JF002089, 2012

14. Rudolf S. Sanzharovskiy, Frieder Sieber, Tatyana N. Ter-Emmanuilyan The theory of calculation of reinforced concrete structures and the principles of the Eurocode Structural Mechanics of Engineering *Constructions and Buildings* 2021. 17(5). 455–465

15. Talal Awwad, Turlybek Mussabayev, Assel Tulebekova, Atogali Jumabayev Development of the computer program of calculation of concrete bored piles in soil ground of Astana city *INTERNATIONAL JOURNAL OF GEOMATE*, VOL.17, ISSUE 602019, DOI: <https://doi.org/10.21660/2019.60.17339> ISSN: 2186-2982 (Print), 176-182.

Сведения об авторах:

Рус.:

Жумадилова Нагима Жоламановна – докторант, НАО КарТУ имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, тел.87752590519, e-mail: n-j-93@mail.ru

Мухамеджанова Асель Төлеубековна – PhD, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, тел.87013365954, assel.84@list.ru

Портнов Василий Сергеевич – д.т.н., профессор, МПИ НАО КарТУ имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан, тел.87212565203, e-mail: vs_portnov@mail.ru.

Мусабаев Турлыбек Туркпеневич – д.т.н., профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, тел. 87172787691, eti.enu@mail.ru

Шин Елена Петровна – докторант, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева Астана, Казахстан, тел. 87079038522, lenashin84@mail.ru

Каз.:

Жумадилова Нагима Жоламанқызы – докторанты, Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ, Қарағанды, Қазақстан, 87752590519, e-mail: n-j-93@mail.ru

Мухамеджанова Әсел Төлеубекова – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, 87013365954, assel.84@list.ru

Портнов Василий Сергеевич – техника ғылымдарының докторы, профессор, Әбілқас Сағынов атындағы ҚарТУ, Қарағанды, Қазақстан, 87212565203, e-mail: vs_portnov@mail.ru.

Мұсабаев Тұрлыбек Түркенұлы – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, 87172787691, eti.enu@mail.ru

Шин Елена Петровна – докторанты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, 87079038522, lenashin84@mail.ru

Англ.:

Zhumadilova Nagima Zholamanovna – PhD student, of the NJC “KarTU named after Abylkas Saginov”, Karaganda, Kazakhstan, 87752590519, e-mail: n-j-93@mail.ru

Mukhamedzhanova Asel Toleubekova – PhD of the Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 87013365954, assel.84@list.ru

Portnov Vassiliy Sergeevich – Doctor of Technical Sciences, professor of the NJC “KarTU named after Abylkas Saginov”, Karaganda, Kazakhstan, vs_portnov@mail.ru.

Mussabayev Turlybek Turkpenovich – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 87172787691, eti.enu@mail.ru

Shin Yelena Petrovna – PhD student of the Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 87079038522, lenashin84@mail.ru

А.М. Абдыров¹, Р.К. Ниязбекова², Н.С. Серикбаев², Ж.Т. Ибраева²,
Л.С. Шаншарова², Н.М. Оспанова², С.С. Алдабергенова¹

¹ НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им.
С. Сейфуллина», Астана, Казахстан

² РГП на ПХВ «Казахстанский институт стандартизации и метрологии»
Комитета технического регулирования и метрологии

Министерства торговли и интеграции Республики Казахстан «, Астана, Казахстан

E-mail: zhanna.83-01@list.ru

Воздействие золошлаковых отходов на сроки схватывания цементного теста и паст

Аннотация. В данной работе описан принцип получения цементного композиционного теста и пасты на основе смесей золошлаковых отходов. Проведен анализ химического состава образцов золошлаковых смесей. Проведено изучение по определению основных физико-механических свойств вяжущего. Исследованы разные методы вступления золошлаковых отходов в разные сроки схватывания и изучено их воздействие на основные свойства композиционного материала.

Ключевые слова: техническое сырье; золошлаковые смеси; смешение; измельчение; композиционные вяжущие; гидравлическая активность; дисперсность, водопотребность, прочность.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-98-110

1. Введение

Различные исследования в области низко эмиссионного бетона, так же известного как «зеленый бетон», направлены на переработку отходов производства и снижение количества портландцементного клинкера в составе бетона без ухудшения его механических свойств [1]. Для этих целей используются такие добавки к бетону, как зола-унос и доменный шлак. Летучая зола является побочным продуктом процесса сжигания угольной пыли на ТЭС и электростанциях и может быть использована в качестве добавки в цемент после прохождения процедуры сертификации. Использование летучей золы в качестве добавки к цементу и бетонным смесям позволяет утилизировать отходы, снизить затраты на производство строительных материалов, уменьшить углеродный след и положительно влияет на некоторые физические свойства бетона [2]. Кроме того, в ряде экспериментальных испытаний было показано значительное увеличение прочности материала после добавления летучей золы. Данная работа была подготовлена с целью определения воздействия отходов, в частности летучей золы, на процесс образования конструкций и постижения воздействия добавки на сроки схватывания.

Целью работы было определение воздействия добавки летучей золы на свойства цементных камней, вид и схему продуктов гидратации, а еще разделение и структурные свойства летучей золы в условиях обычного схватывания.

Были исследованы технические свойства цементных суспензий и паст. Определены показатели нормальной плотности и времени схватывания цементного полотна.

Экспериментальные данные представлены в виде выводов о влиянии добавок (золы-уноса) на сроки схватывания цемента. В качестве образцов использовались портландцемент 500 без добавок и ПЦ 500 с добавками. Стандартную плотность и сроки схватывания определяли по ГОСТ 310.3-76 [4].

2. Методы

Для изучения возможностей использования золы, собранной с золоотвалов и золоуловителей, был определен элементный состав золы с помощью рентгено флуоресцентного анализатора. Анализ проводится на рентгено флуоресцентном энерго дисперсионном спектрометре модели Epsilon1. Принцип действия спектрометра основан на методе энерго дисперсионной рентгеновской флуоресценции. Вторичное (в том числе характеристическое) излучение, возбуждаемое в образце, регистрируется энерго дисперсными каналами, построенными на кремниевом дрейфовом детекторе высокого разрешения. Сигналы детектора обрабатываются многоканальным амплитудным анализатором. Источником рентгеновского излучения для спектрометра служит первичная фильтрованная рентгеновская трубка ($U = 50$ кВ, $I = 0,5$ мА, максимальный выход 5 ВА, материал анода - серебро). Рентгено флуоресцентный анализ является одним из самых современных спектроскопических методов исследования материалов с целью получения элементного состава, т.е. элементного анализа. Это позволяет обнаружить широкий спектр элементов. Рентгено флуоресцентный анализ основан на сборе и последующем анализе спектров, получаемых при облучении исследуемого материала рентгеновскими лучами [5].

Результаты анализа состава 1 образца (Зола (Экибастузский ТЭЦ)) указаны в таблице 1.

Таблица 1. Элементный анализ золы Экибастузского угля

Элемент %	Зола (Экибастузский ТЭЦ)
Al	20.932
Si	56.737
S	0.298
Cl	0.136
K	1.597
Ca	3.844
Ti	2.718
V	0.057
Cr	
Mn	0.214
Fe	11.656
Sr	0.183
Ba	0.22
Eu	0.076

Соединения основных элементов (Si, Al, Fe, O, Ca, Ti, Mg, S, K, Na) образующих основную золу, составляют до 98-99 процентов золошлаковых отходов. При этом, Al=20.932%, Si=56.737%, Fe=11.656%, Ca=3.844%, Ti=2.718%, K=1.597%, S=0.298%. Фактически все остальные элементы (микроэлементы) присутствуют в золе в концентрации менее 0.1 % и менее. При сжигании угля у некоторых микроэлементов, как (Sr, Ba, Sc, Y, La, Ti, Zr и др.)

концентрируется в шлаке. Помимо того, иные элементы (к примеру, Ga, In, Tl, Ge, Sn, Pb и др.) при температурах выше 1000 °С улетучиваются из зоны высоких температур и оседают в электрофильтрах, ураганах (при 110–120 °С). Причем химические свойства ЗШО сильно варьируются в зависимости от типа угля, температуры сжигания, спецтехнологии сжигания, соотношения воздух - горючее и размера частиц угля [6].

Обзор полученных итогов показывает, что добавка летучей золы с Экибастузских ТЭЦ снижает типичную плотность с двадцати семи % до 24.5 % в зависимости от дозировки и изменяет сроки начала схватывания с 3 часов до 1.6 часа, а конца с 5.5 до 3.1 часов. Можно предположить, что сочетание суперпластификатора С-3 и ускорителя твердения тиосульфата натрия подобрано в оптимальных соотношениях.

Индивидуальное использование отдельных компонентов универсальных комплексных добавок не может одновременно предоставлять составное влияние на типичную плотность и сроки схватывания цементного полотна [7.8].

Эксперименты по изучению свойств цементных паст и затвердевших композиционных материалов показывают, что цементы с оптимальным количеством добавки золы – уноса имеют более высокую прочность по сравнению с цементами без добавки.

Значимо установить воздействие добавок на сроки схватывания цемента.

Таблица 2 - Итоги изучения воздействия добавок на сроки схватывания цемента

Наименование вяжущего	Вид, количество добавки, % от сухого цемента	Начало схватывания, ч. мин.	Конец схватывания, ч. мин.
Портландцемент М400		1ч. 47 мин.	4 ч. 20 мин
Портландцемент с добавкой	Летучая зола		
	10	1 ч. 45 мин.	4 ч. 30 мин.
	15	1 ч. 50 мин	4 ч. 35 мин.

Изучения по определению типичной плотности цементного теста, содержащего в своем составе добавку золы-уноса, представляют существенный интерес.

Итоги изучений приведены в таблице 3.

Таблица 3 - Итоги определения типичной плотности цементного теста

Вид композита	Вид, количество добавки, % от сухого цемента	Нормальная, густота, %
1	2	3
ПЦ М500	-	26
ПЦ+ 5% золы уноса	10	27
ПЦ+10% золы уноса	15	27,8
ПЦ+15% золы уноса	20	28

В исследованных составах наблюдалось удлинение сроков схватывания вяжущих. Это связано с тем, что зола – унос влияет на процесс начального структурообразования цементных суспензий и паст, способствуя повышению когезии частиц [9].

Процесс гидратации в начальный период схватывания (до 3 суток) дополнительно исследовался по интенсивности пиков в фазе гидратации. Анализируемые данные представлены в виде микро фотографий образцов золы, отвержденных в течение 3 суток, и рентгенограмм образцов золы, отвержденных в течение 3,7 и 28 суток.

Представленные на рисунке микрофотографии отвержденных образцов свидетельствуют о том, что частицы летучей золы, содержащие алюминат кальция, способствуют образованию гидросульфоалюмината кальция, который активно адсорбируется на поверхности частиц. Добавление золы - уноса, содержащей алюминаты кальция, приводит к образованию гидросульфоалюмината кальция в результате гидратации, что способствует повышению прочности. Об образовании гидросульфоалюмината кальция свидетельствуют данные рентгено структурного анализа, представленные на рисунке 1-5 [10,11,12].

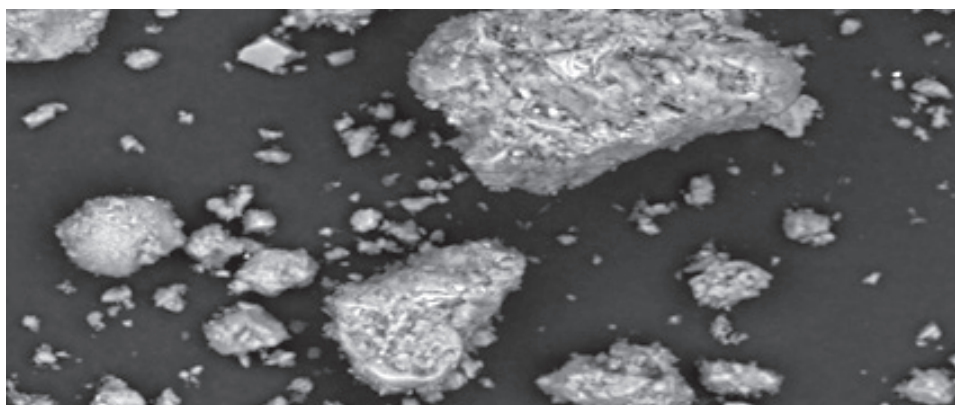


Рисунок 1. Микрофотографии твердевших образцов без добавки, х в 1000

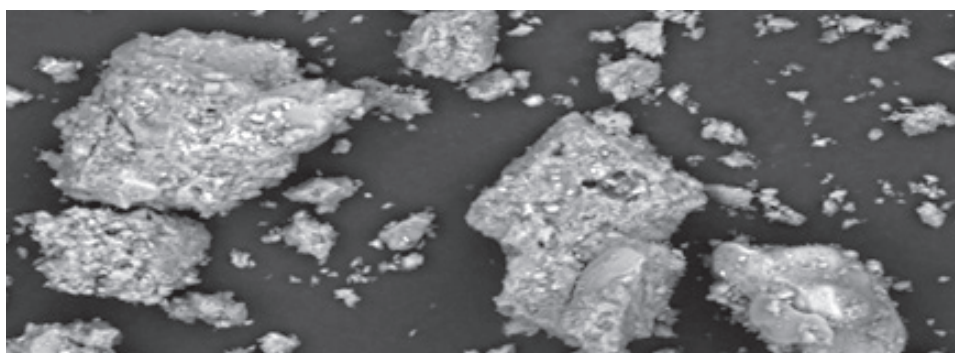


Рисунок 2. Микрофотографии твердевших образцов ПЦ+15% золы уноса

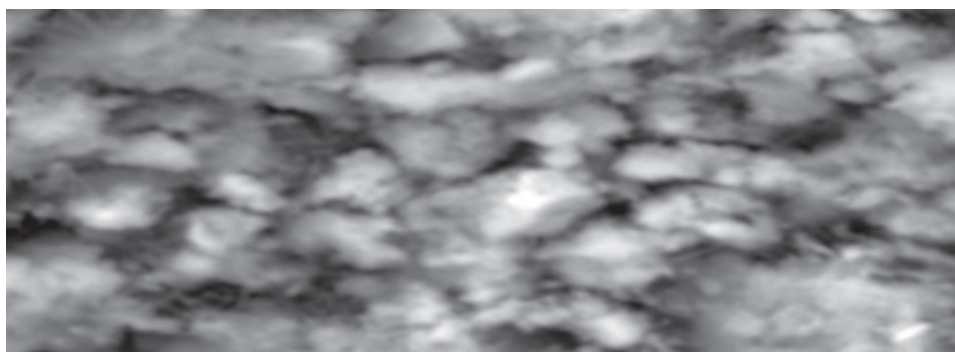


Рисунок 3. Микрофотографии твердевших образцов ПЦ+15% золы уноса, х в 7000

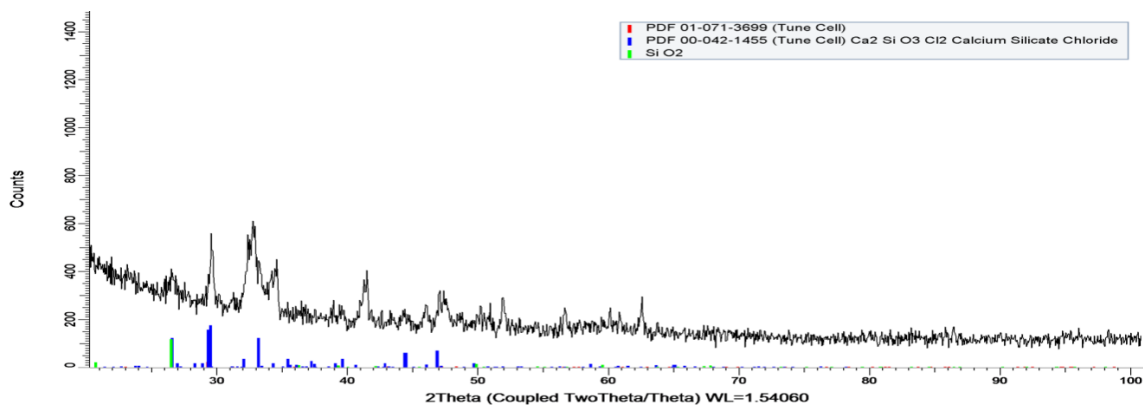


Рисунок 4.Ренгенограммы образцов с золой уноса 15%, твердевших в течение 3 суток

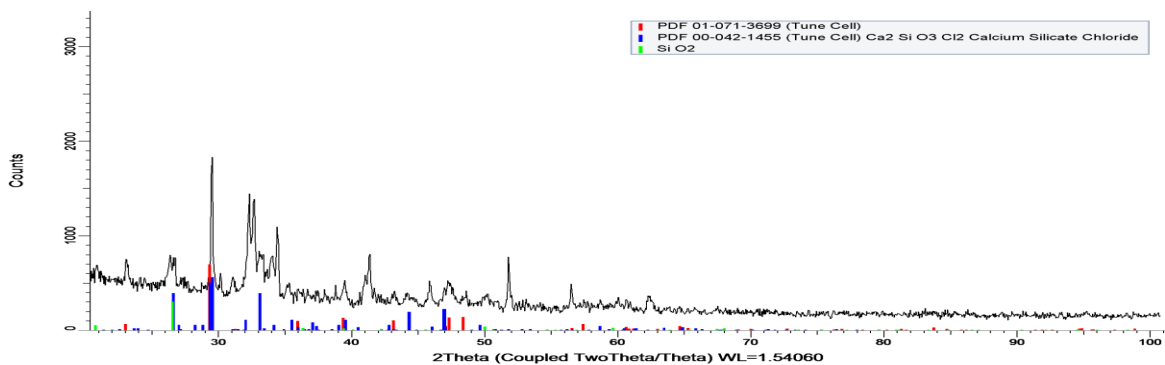


Рисунок 5. Ренгенограммы образцов с золой уноса 15%, твердевших в течение 7 суток

Считается, что зола - унос как добавка также изменяет схему и пористость цементного камня. Отличия в микроструктуре цементных камней с золой - уносом и без нее свидетельствуют о том, что цементные камни без добавок (рисунок один) имеют больше трещиноватую схему и менее плотную упаковку гидратных новообразований [четырнадцать]. Помимо того, отслеживалось существенное число усадочных трещин, что можно объяснить высыханием в периоды твердения - 3, 7 и 28 суток в природных условиях. Цементные примеры с золой - уносом имеют больше высокую плотность упаковки кристалло гидратов и фактически не имеют усадочных трещин.

Для определения влияния кремния на структуру цементного камня в цементную пасту добавляли кремний в количестве от 2% до 8% от массы вяжущего. Результаты показали, что присутствие кремния + алюминия влияет на плотность, пористость, однородность и новообразования структуры цементного камня. Добавление большого количества золы - уноса от массы вяжущего позволило подтвердить наличие новообразований в цементном камне с помощью рентгеновского оборудования [15].

В таблице 4 приведены результаты испытаний цементных тестов на нормальную плотность и сроки схватывания.

Таблица 4. Воздействие летучей золы на типичную густоту и сроки схватывания цементного теста

Вид добавки	Количество от массы цемента, %	Нормальная густота, %	Сроки схватывания, ч	
			начало	конец
ПЦ+5% лет.золы	–	26%	3,0	5,5
ПЦ+10% лет.золы	2	27%	2,6	5,1
ПЦ+15% лет.золы	3	27,80%	2,3	4,6
ПЦ+20% лет.золы	4	28%	2,1	3,65
ПЦ+30% лет.золы	5	28,40%	1,6	3,1
ПЦ+40% лет.золы	0,6	28,30%	3,6	5,1

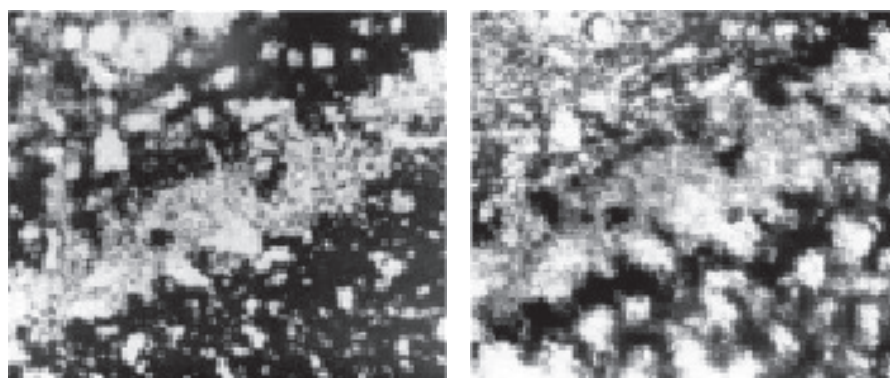
Обзор итогов рентгено структурного обзора разрешает предположить, что в итоге взаимодействия летучей золы с вяжущим образуются соли гио сульфата кальция, которые больше устойчивы, чем соли тиосульфата натрия.

Отслеживается также диспергирующее действие на зерна шлака (рисунок 3), что содействует возрастанию прочности цементного камня [16]. Петрографический обзор цементной ткани показывает, что кристалличность цементного камня с добавками золы - уноса выше, чем без них (рисунок 4) и (рисунок 5). Кристаллы с добавками больше мелкие и лучше кристаллизуются, видны отчетливые силуэты новообразований в массе цементного камня.

Помимо того, определение пористости цементного камня показало, что поры композиции с добавками имеют положительную округлую форму и равномерно распределены по всему объему [17].

Пористость рассчитывалась по способу окклюзионной сетки. При применении добавки всеобщая пористость уменьшилась на 0.шесть процентов, что свидетельствует об уплотнении цементного камня. Помимо того, изменился и добротный состав пор. В итоге число пор до 0.пять - 10-2 см увеличилось на пять процентов, а число пор до 1.0 - 10 - 2 см также увеличилось на 5% [18].

Итоги литологических изучений были подтверждены данными по прочности цементного камня. От того что спец технология монолитного бетона предусматривает послойное возведение конструкций с перерывами в укладке бетона, представляет интерес освоение контактных швов древнего и нового бетона, показанных на рисунке 6 а и 6 б [19.20].



а)

б)

Рисунок 6. Петрография контактного шва цементного камня: а) верхняя граница контакта; б) нижняя граница контакта

В реальное время работы по обеспечению контактного шва между слоями бетона при постоянном бетонировании больше трех суток выполнялись в основном полимерными композициями либо коллоидными цементными клеями.

3. Результаты и обсуждения

По суждению Н.В. Михайлова, основными факторами, влияющими на схватывание древнего и нового бетона, являются обстоятельства образования и свойства кристаллического материала в зоне контакта. Изучения свойств контактной зоны проводились в «чистом виде», без учета других факторов, которые могут предоставлять значительное воздействие на крепкость шва, впрочем физико-химические процессы, происходящие при соединении бетонных швов, не были определены [21,22]. Для сопоставимости экспериментальных итогов все операции со всеми составами цементных паст повторялись в одном и том же порядке.

В.И. Соловьев предложил метод бесшовного возведения монолитных конструкций, разрешающий предоставить монолитность контактных швов [23]. В процессе экспериментов было найдено, что при обработке поверхности затвердевшего бетона разными солями происходит постепенное растворение солей на поверхности. Эксперимент был повторен в условиях, исключающих смачивание солей за счет влажности воздуха, но итоги остались бывшими. Дальше было определено время твердения бетона, приводящее к смачиванию соли на поверхности бетона. Было установлено, что смачивание происходит на цементном камне, а период твердения находится в пределах 3 суток. Перенос влаги с цементного камня на растворенную соль приводит к освобождению контактного пограничного слоя, реализации в нем небольшого осмотического давления и проникновению образовавшегося раствора в камень. Это приводит к сшиванию пограничного слоя в затвердевшую массу. В данном случае поверхностный слой карбоната кальция уже не оказывает значительного воздействия на образование нового заполнителя в затвердевшем цементном камне. Освоение осмотических свойств цементного камня разрешило применять это явление для склеивания древнего цементного камня с новым.

Помимо того, было найдено, что если в момент растворения вибрировать поверхность цементного камня, контактирующую с растворенной солью, то она разжижается, превращаясь в цементный гель. После прекращения вибрации разжиженный слой затвердевал как обыкновенный цементный камень. Полученные цементные камни не имели знаков повторного уничтожения и не теряли прочности по сопоставлению с контрольными примерами. Аналогичная операция была допустима и с цементными камнями, затвердевшими в природных условиях.

С помощью итогов этих экспериментов был разработан способ бетонирования монолитных конструкций, который лег в основу доктрины бесшовного бетона. Эксперименты с бесшовным бетоном проводились дальнейшим образом: подготавливался цементный раствор с В/Ц 0.35.

После этого подготавливался тот же цементный раствор, на поверхность затвердевшего примера в опалубке наносился порошкообразный тиосульфат натрия и вибрировался микрошариками до образования на поверхности гелеобразной массы. После этого 2-й слой распределялся по вибростолу обыкновенным методом и уплотнялся. Число тиосульфата натрия составляло 0.5 г на см².

Из отвержденных образцов были изготовлены образцы и сделаны фотографии [24,25]. На рисунке 6 а, б показаны контактные швы древнего и нового цементных камней, забетонированных по разработанной методике. На рисунке 6 а, б показаны контактные швы нового и древнего цементных камней, забетонированных по разработанной методике. Заметно, что гидраты оксида кальция распределены как в древнем, так

и в новом объеме цементного раствора. Отлично заметно, что контактные швы не имеют отчетливых границ ни в зоне контакта, ни внутри швов.

Цементный камень выглядит монолитным, а в контактном слое содержится некоторое избыточное число тиосульфата натрия, который гораздо диспергирует кристалло гидраты, уплотняя и консолидируя цементный камень.

4. Выводы

Обзор полученных итогов показывает, что уничтожение цементного камня происходит по примера, а не по стыкам контактных слоев. Это можно объяснить больше высокой прочностью контактного слоя древнего и нового бетона: увеличение В/Ц приводит как к незначительному снижению контактной прочности, так и к снижению прочности примеров на сжатие.

Результаты данного исследования показывают, что зола-унос может быть использована в качестве частичной замены цемента в бетоне и может улучшить такие свойства бетона, как долговечность и прочность. Комбинированный состав летучей золы и цемента позволяет использовать отходы летучей золы в таких отраслях строительной индустрии, как производство цемента, дорожное строительство, возведение плотин и стабилизация склонов. Например, по данным ADAA Australia, в Австралии угольная зола повторно используется в производстве различных продуктов, таких как битум, цемент, бетон, при строительстве дорог и насыпей [8]. Кроме того, сокращение производства цемента позволяет экономить ресурсы и избегать негативных последствий его производства, в том числе выбросов парниковых газов. Агентство по охране окружающей среды США провело оценку использования летучей золы в бетоне и определило, что она не представляет большей опасности для здоровья и окружающей среды, чем использование цемента. Поэтому в Казахстане необходимо увеличить долю утилизируемой летучей золы за счет ее применения в различных отраслях промышленности [9].

Работа выполнена в соответствии с Программой BR12967699 «Создание нормативной документации, научно-технических основ эффективных композиционных smart материалов на основе отходов промышленности».

This research has been/was/is funded by the Ministry of Trade and Integration of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR12967699 "Creation of regulatory documentation, scientific and technical foundations for effective composite smart materials based on industrial waste")

Данное исследование финансировалось Министерством торговли и интеграции Республики Казахстан (Грант № BR12967699 «Создание нормативной документации, научно-технических основ для эффективных композитных интеллектуальных материалов на основе промышленных отходов»).

Список литературы

1. Smarzewski P. Mechanical properties of ultra-high performance concrete with partial utilization of waste foundry sand. Buildings. 2020;10:11. doi: 10.3390/buildings10010011.
2. Kubissa W., Jaskulski R., Reiterman P. Ecological concrete based on blast-furnace cement with incorporated coarse recycled concrete aggregate and fly ash addition. J. Renew. Mater. 2017;5:53–61. doi: 10.7569/JRM.2017.634103.
3. Байджанов Д.О., Хан М.А., Садирбаева А.М., Икишева А.О., Дивак Л.А. ВЛИЯНИЕ КОМПЛЕКСНОЙ ДОБАВКИ НА СРОКИ СХВАТЫВАНИЯ ЦЕМЕНТНОГО ТЕСТА И СТРУКТУРУ ЦЕМЕНТНОГО КАМНЯ // Международный журнал прикладных и фундаментальных исследований. – 2018. – № 2. – С. 17-22; URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12100> (дата обращения: 05.06.2023).
4. Лермит Р. Проблемы технологии бетона / Р. Лермит. – М.: Российское Общество оценщиков, 2017. – 296 с.

5. Рахимов М.А. Влияние комплексного модификатора СС-ЗТН на свойства бетонной смеси / М.А. Рахимов, Е.В. Ткач, Г.М. Рахимова, М.К. Дадиева, М.А. Хан, Б.М. Тоиббаева // *Современные проблемы науки и образования*. – 2015. – № 1–1. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18137> (дата обращения: 27.01.2018).
6. Зоткин А.Г. Бетоны с эффективными добавками / А.Г. Зоткин; ред. Зайцев А.Н. – Вологда: Инфра-Инженерия, 2014. – 160 с.
7. Серова Р.Ф. Влияние модифицирования на морозо- и коррозиестойкость цементных материалов. / Р.Ф. Серова, А.К. Кожас, Б.М. Тоимбаева, А.М. Рахимов // *Фундаментальные исследования*. – 2012. – № 9–3. – С. 690–693.
8. S. Slesinger, Coal Ash: Why it is better recycled than as a waste (Feb. 13, 2014) <https://www.nrdc.org/experts/scott-slesinger/coal-ash-why-it-better-recycled-waste>; US EPA, Methodology for Evaluating Encapsulated Beneficial Uses of Coal Combustion Residuals (2014), <https://www.epa.gov/coalash/methodology-evaluating-encapsulated-beneficial-uses-coal-combustion-residuals>.
9. US EPA, Coal Combustion Residual Beneficial Use Evaluation: Fly Ash Concrete and FGD Gypsum Wallboard, February 2014, available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-12/documents/ccr_bu_eval.pdf
10. Рахимов М.А. Исследование влияния комплексных гидрофобизирующих органо-минеральных модификаторов на эксплуатационные свойства тяжелого бетона / М.А. Рахимов, Г.М. Рахимова, А.М. Рахимов, А.М. Садирбаева, Е.К. Иманов // *Фундаментальные исследования*. – 2016. – № 2–2. – С. 294–298.
11. Дмитриев И.И., Кириллов А.М. Золошлаковые отходы в составе бетона // *СтройМного*, 2017. №3 (8). URL: <http://stroy mnogo.com/science/tech/zoloshlakovy-e-otkhody-v-sostave-bet/>
12. Волженский А. В. Применение зол и топливных шлаков в производстве строительных материалов [Текст] / А. В. Волженский, И. А. Иванов, Ю. Н. Виноградов. - М.: Стройиздат, 1984. - 198 с.
13. Дворкин Л. И. Физико-механические свойства активированных цементно-зольных вяжущих [Текст] / Л. И. Дворкин, О. Л. Дворкин // *Технологии бетонов*. - 2010. - № 11- 12. - с. 35-37.
14. Malhotra V.M., Mehta P.K. High-Perfor- mance, Fligh-Volume Fly Ash Concrete. Supple- mentary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa, Canada, 2005, 124 p.
15. Энтин Э.Б., Стржалковская Н.В. Еще раз о золах-уноса ТЭС для производства цемента // *Цемент и его применение*. 2009. № 2. С. 106–111.
16. Энтин Э.Б., Нефедова Л.С., Стржалковская Н.В. Золо ТЭС – сырье для цемента и бе- тона // *Цемент и его применение*. 2012. №2. С. 40–46.
17. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Olga Aleksandrova, Oksana Larsen and Pham Ngoc Anh. Ef- fect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete, E3S Web of Conferences 33, 02030 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302030>.
18. ASTM C 618:15. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, 5 p.
19. TCVN 6017: 2015. Cements. Methods for testing the timing of setting and uniformity of changes in the volume of the cement paste. Publisher construction. Hanoi. 2015, 17 p.
- TCVN 6016: 2011. Cements. Methods for determining the ultimate strength in bending and compressing cement. Publisherconstruction. Hanoi. 2011, 37 p.
20. Naik T.R., Ramme B.W. High early strength concrete containing large quantities of fly ash. *ACI Mater. J* 1989. № 86, pp. 111–116.
21. Dinakar P., Babu K.G., Santhanam M. Dura- bility properties of high volume fly ash self-compact- ing concretes. *Cem. Concr. Compos.* 2008. № 30. Pp. 880–886.
22. Satish H. Sathawane, Vikrant S. Vairagade, Kavita S Kene. Combine Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on Concrete by 30 % Cement Replace- ment. *Procedia Engineering*. 2013. № 51, pp. 35–44.
23. Narde A.R., Gajbhiye A.R. Durability studies on concrete with fly ash, rice husk ash and quarry sand. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. № 9(2). Pp. 587–595.
24. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Sofia Ba- zhenova, Olga Aleksandrova, Pham Ngoc Anh and Vu Dinh Tho. Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on the Workability of Concrete Mixture in the High- Rise Construction, E3S Web of Conferences 33, 02029 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302029>.
25. ИТС НДТ 15-2016. Утилизация и обезвреживание отходов (кроме обезвреживания терми- ческим способом (сжигания отходов) // Бюро НДТ, М., 2016, 208 с.

Күл-қож қалдықтарының цемент қамыры мен пастаны орнату уақытына әсері

А.М. Абдыров¹, Р.К. Ниязбекова², Н.С. Серекбаев², Ж.Т. Ибраева²,
Л.С. Шаншарова², Н.М. Оспанова², С.С. Алдабергенова¹

¹ «С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу
университеті» КеАҚ, Астана, Қазақстан

² «Қазақстан стандарттау және метрология институты» ПВХ РМК
Техникалық реттеу және метрология комитеті

Қазақстан Республикасы Сауда және интеграция министрлігі, Астана, Қазақстан

Аңдатпа. Бұл жұмыста үйінді күл-қож қоспалары негізінде цементті композициялық қамыр мен пасталар жасау принциптері келтірілген. Күл-қож қоспасы сынамаларының химиялық құрамына талдау жүргізілді. Тұтқыр заттардың негізгі физика-механикалық қасиеттерін анықтау бойынша зерттеулер жүргізілді. Күл-қож қалдықтарын орнатудың әртүрлі кезеңдерінде енгізудің әртүрлі әдістері қарастырылып, олардың композициялық материалдың негізгі қасиеттеріне әсері зерттелді.

Түйін сөздер: техногендік шикізат; күл-қож қоспасы; араластыру; ұнтақтау; композициялық тұтқыр; гидравликалық белсенділік; дисперсия, су қажеттілігі, беріктік.

The effect of ash and slag waste on the setting time of cement dough and paste

A.M. Abdyrov¹, R.K. Niyazbekova², N.S. Serekbayev², Zh.T. Ibrayeva²,
L.S. Shansharova², N.M. Ospanova², S.S. Aldabergenova¹

¹NJSC «Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin», Astana, Kazakhstan

²RSE on PVC «Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology» Committee
for Technical Regulation and Metrology Ministry of

Trade and Integration of the Republic of Kazakhstan «, Astana, Kazakhstan

Annotation. This paper presents the principles of creating cement composite doughs and pastes based on waste ash and slag mixtures. Analysis of chemical composition of ash and slag mixture samples was carried out. Studies have been carried out to determine the basic physical and mechanical properties of binders. Various methods of introducing ash and slag waste at different setting times are considered and their effect on the basic properties of the composite material is studied.

Keywords: technogenic raw materials; ash-slag mixture; mixing; grinding; composite binder; hydraulic activity; dispersion, water demand, strength.

References

1. Smarzewski P. Mechanical properties of ultra-high performance concrete with partial utilization of waste foundry sand. buildings. 2020;10:11. doi: 10.3390/buildings10010011.
2. Kubissa W., Jaskulski R., Reiterman P. Ecological concrete based on blast-furnace cement with incorporated coarse recycled concrete aggregate and fly ash addition. J. Renew. mater. 2017;5:53–61. doi: 10.7569/JRM.2017.634103.
3. Baidzhanov D.O., Khan M.A., Sadirbaeva A.M., Ikisheva A.O., Divak L.A. INFLUENCE OF A COMPLEX ADDITIVE ON THE SETTING TIME OF THE CEMENT DOUGH AND THE STRUCTURE OF THE CEMENT STONE // International Journal of Applied and Fundamental Research. - 2018. - No. 2. - P. 17-22;
URL: <https://applied-research.ru/ru/article/view?id=12100> (date of access: 06/05/2023).
4. Lermi R. Problems of concrete technology / R. Lermi. – M.: Russian Society of Appraisers, 2017. – 296 p.

5. Rakhimov M.A. Influence of the complex modifier SS-3TN on the properties of the concrete mixture / M.A. Rakhimov, E.V. Tkach, G.M. Rakhimov, M.K. Dadiyeva, M.A. Khan, B.M. Toibaeva // *Modern problems of science and education*. - 2015. - No. 1-1. URL: <https://www.science-education.ru/ru/article/view?id=18137> (date of access: 01/27/2018).
6. Zotkin A.G. Concrete with effective additives / A.G. Zotkin; ed. Zaitsev A.N. - Vologda: Infra-Engineering, 2014. - 160 p.
7. Serova R.F. Influence of modification on frost and corrosion resistance of cement materials. / R.F. Serova, A.K. Kozhas, B.M. Toimbaeva, A.M. Rakhimov // *Fundamental research*. - 2012. - No. 9-3. - S. 690-693.
8. S. Slesinger, Coal Ash: Why it is better recycled than as a waste (Feb. 13, 2014) <https://www.nrdc.org/experts/scott-slesinger/coal-ash-why-it-better-recycled-waste>; US EPA, Methodology for Evaluating Encapsulated Beneficial Uses of Coal Combustion Residuals (2014), <https://www.epa.gov/coalash/methodology-evaluating-encapsulated-beneficial-uses-coal-combustion-residuals>.
9. US EPA, Coal Combustion Residual Beneficial Use Evaluation: Fly Ash Concrete and FGD Gypsum Wallboard, February 2014, available at: https://www.epa.gov/sites/production/files/2014-12/documents/ccr_bu_eval.pdf
10. Rakhimov M.A. Study of the influence of complex water-repellent organo-mineral modifiers on the operational properties of heavy concrete / M.A. Rakhimov, G.M. Rakhimova, A.M. Rakhimov, A.M. Sadirbayeva, E.K. Imanov // *Fundamental research*. - 2016. - No. 2-2. - S. 294-298.
11. Dmitriev I.I., Kirillov A.M. Ash and slag waste in the composition of concrete // *StroyMnogo*, 2017. No. 3 (8). URL: <http://stroymnogo.com/science/tech/zoloshlakovye-otkhody-v-compose-bet/>
12. Volzhensky A. V. Application of ashes and fuel slags in the production of building materials [Text] / A. V. Volzhensky, I. A. Ivanov, Yu. N. Vinogradov. - M.: Stroyizdat, 1984. - 198 c.
13. Dvorkin L. I. Physical and mechanical properties of activated cement-ash binders [Text] / L. I. Dvorkin, O. L. Dvorkin // *Tekhnologii betonov*. - 2010. - No. 11-12. - p. 35-37.
14. Malhotra V.M., Mehta P.K. High-Performance, High-Volume Fly Ash Concrete. Supplementary Cementing Materials for Sustainable Development Inc., Ottawa, Canada, 2005, 124 p.
15. Entin Z.B., Strzhalkovskaya N.V. Once again about fly ash from thermal power plants for the production of cement // *Cement and its application*. 2009. No. 2. P. 106-111.
16. Entin E.B., Nefedova L.S., Strzhalkovskaya N.V. Ashes of thermal power plants - raw materials for cement and concrete // *Cement and its application*. 2012. №2. pp. 40-46.
17. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Olga Aleksandrova, Oksana Larsen and Pham Ngoc Anh. Effect of rice husk ash and fly ash on the compressive strength of high performance concrete, E3S Web of Conferences 33, 02030 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302030>.
18. ASTM C 618:15. Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete, 5 p.
19. TCVN 6017: 2015. Cements. Methods for testing the timing of setting and uniformity of changes in the volume of the cement paste. Publisher construction. Hanoi. 2015, 17 p.
- TCVN 6016: 2011. Cements. Methods for determining the ultimate strength in bending and compressing cement. publisherconstruction. Hanoi. 2011, 37 p.
20. Naik T.R., Ramme B.W. Early quantities of large quantities of flyash. A.C.I. Mater. J 1989. No. 86, pp. 111-116.
21. Dinakar P., Babu K.G., Santhanam M. Durability properties of high volume fly ash self-compacting concretes. *Cem. Concr. compos*. 2008. No. 30. Pp. 880-886.
22. Satish H. Sathawane, Vikrant S. Vairagade, Kavita S Kene. Combine Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on Concrete by 30% Cement Replacement. *Procedia Engineering*. 2013. No. 51, pp. 35-44.
23. Narde A.R., Gajbhiye A.R. Durability studies on concrete with fly ash, rice husk ash and quarry sand. *International Journal of Civil Engineering and Technology*. 2018. No. 9(2). pp. 587-595.
24. Tang Van Lam, Boris Bulgakov, Sofia Bazhenova, Olga Aleksandrova, Pham Ngoc Anh and Vu Dinh Tho. Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on the Workability of Concrete Mixture in the High-Rise Construction, E3S Web of Conferences 33, 02029 (2018), <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302029>.
25. ITS NDT 15-2016. Utilization and neutralization of waste (except for thermal neutralization (waste incineration)) // Bureau of NDT, M., 2016, 208 p.

Сведения об авторах:

А.М. Абдыров – д.п.н., профессор, Член Правления Первый проректор НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», пр. Женис 62, Астана, Казахстан, 87017301576, e-mail: abdyrov@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0875-5788>

Р.К. Ниязбекова – д.т.н., профессор кафедры «Стандартизации, метрологии и сертификации» НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», пр. Женис 62, Астана, Казахстан, 87751343630, e-mail: rimma.n60@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8688-1408>

Б.Н. Салимов – доктор PhD, директор ТОО "SRK Consulting (Kazakhstan) Ltd", пр. Туран 75, Астана, Казахстан, 87774795034, e-mail: Aveslam@mail.ru

Ж.Т. Ибраева – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Стандартизация, метрология и сертификация» НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», пр. Женис 62, Астана, Казахстан. 87015943314, e-mail: zhanna.83-01@list.ru

Л.С. Шанишарова – магистр технических наук, научный сотрудник РПП «Казахстанский институт стандартизации и метрологии», Астана, Казахстан. 87781116530, e-mail: l.sarsenbayevna@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5666-9884>

Н. Оспанова – магистр технических наук, научный сотрудник ТОО "SRK Consulting (Kazakhstan) Ltd", пр. Мангилик ел 11, Астана, Казахстан, 87003322515, e-mail: nargizaospanova@gmail.com

С.С. Алдабергенова – доктор PhD, старший преподаватель кафедры «Стандартизация, метрология и сертификация» НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина», пр. Женис 62, Астана, Казахстан, 87078544961, e-mail: ass_1982@mail.ru

А.М. Абдыров – п.ғ.д., профессор, Басқарма мүшесі - Бірінші проректор КеаҚ «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Женис даңғылы 62, Астана, Қазақстан, 87017301576, e-mail: abdyrov@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0875-5788>

Р.К. Ниязбекова – т.ғ.д., «Стандарттау, метрология және сертификаттау» кафедрасының профессоры, КеаҚ «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Женис даңғылы 62, Астана, Қазақстан, 87751343630, e-mail: rimma.n60@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8688-1408>

Б.Н. Салимов – PhD докторы, ЖШС «SRK Consulting (Kazakhstan) Ltd» «басшысы, Туран даңғылы 75, Астана, Қазақстан, 87774795034, e-mail: Aveslam@mail.ru

Ж.Т. Ибраева – техникалық ғылымдарының магистрі, «Стандарттау, метрология және сертификаттау» кафедрасының аға оқытушысы, КеаҚ «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Женис даңғылы 62, Астана, Қазақстан, 87015943314, e-mail: zhanna.83-01@list.ru

Л.С. Шанишарова – техникалық ғылымдарының магистрі, РМК «Қазақстандық стандарттау және метрология институты» ғылыми қызметкері, Астана, Қазақстан. 87781116530, e-mail: l.sarsenbayevna@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5666-9884>

Н. Оспанова – техникалық ғылымдарының магистрі, ЖШС «SRK Consulting (Kazakhstan) Ltd» ғылыми қызметкері, Мәңгілік ел даңғылы 11, Астана, Қазақстан, 87003322515, e-mail: nargizaospanova@gmail.com

С.С. Алдабергенова – PhD докторы, «Стандарттау, метрология және сертификаттау» кафедрасының аға оқытушысы, КеаҚ «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті», Женис даңғылы 62, Астана, Қазақстан, 87078544961, e-mail: ass_1982@mail.ru

А.М. Абдыров – PhD, Professor, Member of the Board, First Vice-Rector of NAO «Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin», 62 Zhenis Ave., Astana, Kazakhstan, 87017301576, e-mail: abdyrov@rambler.ru

<https://orcid.org/0000-0002-0875-5788>

Р.К. Ниязбекова – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Standardization, Metrology and Certification of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 62 Zhenis Ave., Astana, Kazakhstan, 87751343630, e-mail: rimma.n60@mail.ru

<https://orcid.org/0000-0001-8688-1408>

B.N. Salimov – PhD, Director of "SRK Consulting (Kazakhstan) LLP Ltd", 75 Turan Ave., Astana, Kazakhstan, 87774795034, e-mail: Aveslam@mail.ru

Zh.T. Ibraeva – Master of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department «Standardization, Metrology and Certification» of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 62 Zhenis Ave., Astana, Kazakhstan, 87015943314, e-mail: zhanna.83-01@list.ru

L.S. Shansharova – Master of Technical Sciences, Researcher at the RSE «Kazakhstan Institute of Standardization and Metrology», Astana, Kazakhstan, 87781116530, e-mail: l.sarsenbayevna@gmail.com, <https://orcid.org/0009-0001-5666-9884>

N. Ospanova – Master of Technical Sciences, Researcher at "SRK Consulting LLP (Kazakhstan) Ltd", 11 Mangilik El Ave., Astana, Kazakhstan, 87003322515, e-mail: nargizaospanova@gmail.com

S.S. Aldabergenova – PhD, Senior Lecturer of the Department «Standardization, Metrology and Certification» of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 62 Zhenis Ave., Astana, Kazakhstan, 87078544961, e-mail: ass_1982@mail.ru

Г.К. Каримова¹, Р.К. Ниязбекова¹, Ж.К. Даниярова²

¹Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина,
Астана, Казахстан

²Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан
E-mail: gulmaida@mail.ru, ritma.n60@mail.ru, daniyarova1957@mail.ru

Инструменты стандартизации определяющие показатели качества

Аннотация. Макароны являются одним из продуктов, которые потребляются во всем мире, в связи с чем проведение исследований в области совершенствования технологий и улучшения показателей качества является весьма актуальными. На предприятиях технологические свойства продукции постоянно проверяются, т.к. существуют проблемы, связанные с контролем качества и системой качества.

Существует множество технологий при производстве макаронных изделий, согласно которым предусматривается использование различных пищевых добавок, которые в свою очередь также должны находиться под контролем и соответствовать законодательным требованиям, техническим регламентам ЕАЭС и Республики Казахстан, стандартам.

В статье рассматриваются инструменты стандартизации, определяющие показатели качества макаронных изделий с добавлением пшеницы. Показатели качества установлены в ГОСТ 31743-2017 «Изделия макаронные. Общие технические условия» (далее - ГОСТ 31743-2017) [1], показатели безопасности в ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» [2].

В соответствии с ГОСТ 31743-2017 одним из показателей качества макаронных изделий является «влажность». Повышение влажности приводит к увеличению толщины сольватных оболочек, окружающих частицы муки в уплотненном тесте, а значит, к снижению когезионной прочности теста [3].

В исследовании определены факторы, влияющие на показатель «влажности». Применялись диаграмма Парето, рентгенофлуоресцентный анализатор, математическая модель и диаграмма причинно-следственных связей.

Применяя инструменты стандартизации определено, что при процессе сушки макаронных изделий доминирующими факторами являются «температура и продолжительность сушки». Полученные результаты соответствуют требованиям ГОСТ 31743-2017 по показателю качества «влажность».

Ключевые слова: стандартизация, межгосударственные стандарты, технические регламенты, показатели качества, макаронные изделия, пшеница, диаграмма Парето.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-111-123

1. Введение

В 2015 году в ООН был разработан перспективный план, рассчитанный на пятнадцать лет, по решению проблем, с которыми столкнется мир. При поддержке членов ISO будут максимально использованы преимущества от международной стандартизации и обеспечено соблюдение стандартов ISO, также будет оказана помощь в достижении Целей устойчивого развития ООН (ЦУР). В рамках цели 2 «Ликвидация голода» рассматривается

вопрос обеспечения продовольственной безопасности и улучшение питания и содействие устойчивому развитию сельского хозяйства [4].

В ISO разработано более 1 600 стандартов, затрагивающих вопросы производства продуктов питания. Соответствующие документы разработаны в целях повышения уровня доверия к продуктам питания, улучшения сельскохозяйственных методов содействия развитию устойчивых закупок [4].

В Республике Казахстан принят Закон от 21 июля 2007 года N 301 «О безопасности пищевой продукции» (далее - Закон). Закон устанавливает правовые основы обеспечения безопасности пищевой продукции для защиты жизни и здоровья человека, законных интересов потребителей и охраны окружающей среды на территории Республики Казахстан [5]. В то же время имеются проблемы по снижению показателей на перерабатывающих производствах, устранить которые возможно регулированием технологических свойств и управлением показателей качества производственных процессов. В связи с чем, обеспечение безопасности пищевой продукции посредством применения методов технического регулирования на производствах является одним из приоритетных задач для Казахстана.

Макаронные изделия, вырабатываемые промышленностью, представляют собой пищевой продукт [6-15], который должен соответствовать показателям качества установленных в ГОСТ 31743-2017. Качество макаронных изделий во многом зависит от поставляемого сырья, технологии, этапов производства, ресурсов и иных факторов.

Вместе с тем, существуют межгосударственные стандарты и технические регламенты, определяющие показатели качества макаронных изделий, такие как ГОСТ 31964-2012 «Изделия макаронные. Правила приемки и методы определения качества» [16], ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции» и ТР ТС 022/2011 «О безопасности пищевой продукции» [17].

ГОСТ 31743-2017 устанавливает такие показатели, как влажность, кислотность изделий, массовая доля белка в пересчете на сухое вещество, зола, нерастворимая в 10%-ном растворе HCl, массовая доля золы в пересчете на сухое вещество, сохранность формы сваренных изделий, металломагнитная примесь, содержание муки из мягкой пшеницы, сухое вещество, перешедшее в варочную воду, наличие зараженности и загрязненности вредителями [1].

ТР ТС 021/2011 устанавливает объекты технического регулирования, требования безопасности, правила идентификации объектов технического регулирования, формы и процедуры оценки (подтверждения) соответствия объектов технического регулирования [2].

ТР ТС 022/2011 распространяется на выпускаемую в обращение на единой таможенной территории Таможенного союза пищевую продукцию в части ее маркировки [17].

В соответствии с действующим на территории Евразийского экономического союза ГОСТ 31743-2017 рассмотрен один из показателей качества, как «влажность» [1]. На основании проведенных исследований путем применения инструментов стандартизации определены основные факторы, влияющие на данный показатель.

Цель исследования. Определить доминирующие факторы, которые влияют на показатели качества макаронных изделий с добавлением пшена. Для достижения поставленной цели изучены инструменты стандартизации и технического регулирования.

2. Методы исследования

В работе использовались статистические методы управления качеством продукции: причинно-следственная диаграмма (Fishbone Diagram).



Рисунок 1. Причинно-следственная диаграмма (Fishbone Diagram)

Анализ сырья в виде муки проведен на приборе рентгенофлуоресцентный анализатор. Рентгенофлуоресцентная спектрометрия (общепринятое обозначение - XRF, РФА, РФС) - метод анализа, используемый для определения концентраций элементов от Бериллия (№4) до Урана (№92) в диапазоне от долей ppm до 100% в веществах и материалах различного происхождения. Рентгенофлуоресцентный анализ (РФА) широко распространен как в промышленности, так и в науке - благодаря своей универсальности, точности и скорости измерений, а также простоте эксплуатации [18].



Рисунок 2. Прибор рентгенофлуоресцентный анализатор

Мука из твердой пшеницы с добавлением пшена 3,8 % содержит нижеследующие элементы, которые представлены в таблицах 1-3.

Таблица 1. Концентрация элементов в сырье

Соединение	Si	P	S	Cl	K	Ca	Mn
Соединительный блок	0.307 %	11.320 %	15.734 %	11.397 %	39.228 %	16.514 %	0.539%

Таблица 2. Концентрация элементов в сырье

Соединение	Fe	Cu	Zn	Br	Sr	Rh	Sn
Соединительный блок	1.226 %	0.684 %	1.315 %	0.397 %	0.073 %	0.007 %	0.539%

Таблица 3. Концентрация элементов в сырье

Соединение	Te	Eu	Os
Соединительный блок	0.566 %	0.000 %	1.031 %

Среди планов на сфере наибольшей популярностью у исследователей пользуются центральные композиционные равномер-ротатабельные планы Бокса-Хантера. Ядром этих планов являются линейные планы ПФЭ или ДФЭ с шагом варьирования $\lambda_i = 1$.

Расчеты проводились с использованием пакета программ Statgraphics Centurion при определении факторов, влияющих на показатели качества (влажность и кислотность). В панели Response Surface Design Selection выделим план Central composite design 2^2+star . После нажатия клавиши ОК появляется панель Composite Design Options, в которой следует отметить характеристику плана Rotatable, а в поле Centerpoints Number (число точек в центре плана) ввести 5 для обеспечения равномер-ротатабельности. Так как эксперимент выполняется только один раз, в прямоугольнике Replicate Design (число повторений плана) введем 0 в поле Number. Панель информирует нас о том, что общее число точек Runs в выбранном плане 13, число степеней свободы Error d. f. для оценки остаточной дисперсии 7.

Чтобы перейти к анализу, выберем в главном меню программы пункты DOE © Legacy DOE Procedures → Design Analysis → Analyze Design. В появившемся окне диалога выделим и перенесем (нажав кнопку с изображением черного треугольника) обозначение выходного параметра y в поле Data, затем заполним панель Estimate Effects Options. После команды ОК появится панель выбора отображаемой информации Tables and Graphs с результатами анализа. Если выбрать все опции, кликнув команду All, экран заполняется таблицами и графиками.



Рисунок 3. Программа Statgraphics Centurion

Кроме того, эксперимент проводили по симплекс-решетчатому плану (план Шеффе) третьего порядка (Simplex-Lattice).

3. Результаты и обсуждение

На основе проведенных экспериментальных исследований процесса сушки макаронных изделий с замещением пшена, установлены следующие факторы: температура сушки x_1 (Т, °С), продолжительность сушки x_2 (t, ч), оказывающие влияние на критерии оптимизации - влажность макаронных изделий с замещением пшена y_1 (W_1 , %).

В таблице 4 приведены результаты дисперсионного анализа влажности макаронных изделий с замещением пшена.

Таблица 4. Дисперсионный анализ влажности макаронных изделий с замещением пшена (ANOVA)

Значения	Сумма квадратов	Различие	Средний квадрат	F - отношение	Значение P
x_1	0,822909	1	0,822909	24,37	0,0078
x_2	3,10038	1	3,10038	91,81	0,0007
x_1^2	1,81205	1	1,81205	53,66	0,0018
$x_1 x_2$	0,801025	1	0,801025	23,72	0,0082
x_2^2	0,127486	1	0,127486	3,78	0,1240
Отсутствие соответствия	0,30856	3	0,102853	3,05	0,1550
Чистая ошибка	0,13508	4	0,03377		
Итого (корр.)	7,01352	12			

Таблица ANOVA разделяет изменчивость влажности макаронных изделий с замещением пшена на отдельные части для каждого из эффектов. Затем проверяется статистическая значимость каждого эффекта путем сравнения среднего квадрата с оценкой экспериментальной ошибки. В этом случае 4 эффекта имеют P-значения менее 0,05, что указывает на то, что они значительно отличаются от нуля при доверительном уровне 95,0%.

Уравнения регрессии для процесса сушки макаронных изделий с замещением пшена примет следующий вид:

$$y_1 = 40,3577 - 0,8228 x_1 + 5,0915 x_2 - 0,0895x_1x_2 + 0,0051x_1^2$$

После канонического преобразования моделей второго порядка были получены уравнения регрессии в канонической форме, значения параметров оптимизации были вычислены на Statgraphics Centurion, на основе которых строили модель в трехмерном пространстве, представляющую собой плоскость, которая характеризует зависимость температуры сушки x_1 (Т, °С), оказывающие влияние на критерии оптимизации - влажность макаронных изделий с замещением пшена y_1 (W_1 , %). На рисунке 3 приведены графические изображения зависимостей.

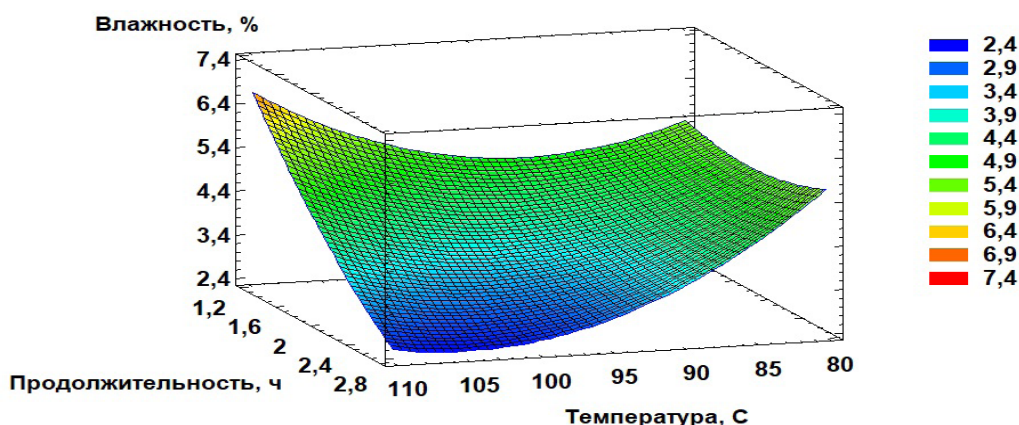


Рисунок 4. Трехмерная модель в пространстве, характеризующая зависимость $y_1=f(T, t)$ температуры сушки и продолжительности сушки на влажность макаронных изделий с замещением пшена

Анализ трехмерных пространственных моделей показывает, которые представлены на рисунке 4, что необходимые значения критерия оптимизации y достигаются в рассматриваемой области поиска. Это означает, что уровни варьирования входных факторов при планировании экспериментов приняты достаточно верно.

Приведенные зависимости от переменных параметров технологического процесса позволяют с достаточной точностью прогнозировать изменение значений критериев оптимизации y в исследуемом диапазоне значений факторов. При этом можно установить доминирующее влияние каждого исследуемого фактора на критерии оптимизации процесса, что позволяет с достаточным приближением описать кинетику процесса, которые приведены на рисунке 5.

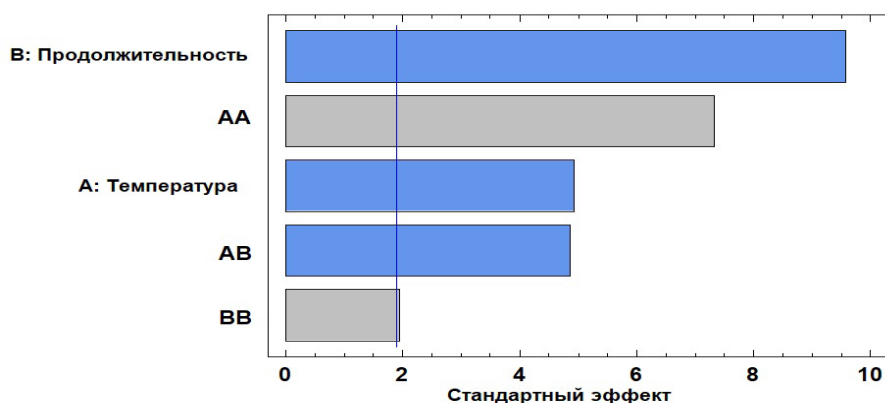


Рисунок 5. Стандартизированная диаграммы Парето для макаронных изделий с замещением пшеница

По результатам анализа диаграммы Парето можно сделать вывод о том, что при сушке макаронных изделий с замещением пшеница наибольший эффект оказывает продолжительность сушки, что является доминирующим фактором.

Для определения оптимальных зон для влажности макаронных изделий строили графики с контурами расчетной поверхности отклика, которые представлены на рисунке 6.

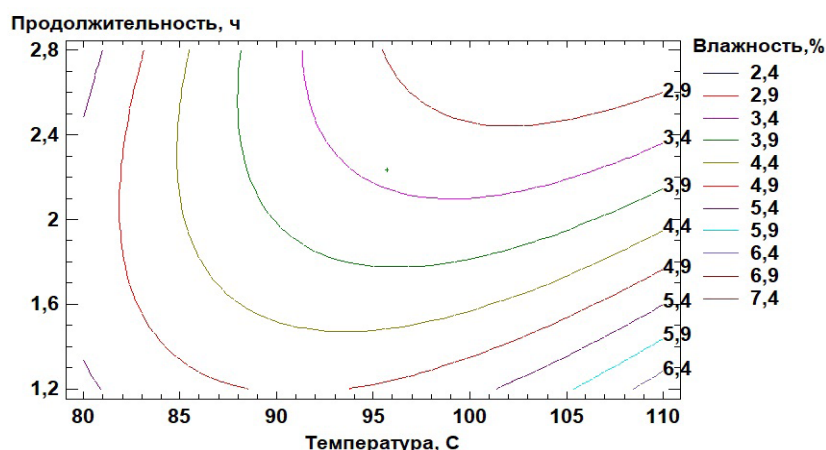


Рисунок 6. Контурные расчетной поверхности отклика, характеризующие зависимость температуры сушки и продолжительности сушки на влажность макаронных изделий с замещением пшеница

Переменными факторами при составлении рецептуры выступали массовые доли воды (x_1), пшеничной муки (x_2) и пшеница (x_3) в составе замеса. Эти факторы варьировали в соответствии с планом Шеффе третьего порядка. Другие условия опытов оставались неизменными. Результаты опытов характеризовали изменение одного из показателей - кислотность.

Компоненты замеса, образующие матрицу планирования, и результаты опытов приведены в таблице 1.

Таблица 5. План Шеффе и результаты опытов

Номера опытов	Массовая доля компонентов						Кислотность, град
	Кодированные значения			Натуральные значения			
	x_1	x_2	x_3	В, мл	ПМ, г	П, г	
1	0	2/3	1/3	22,9	74,5	2,6	0,91
2	1/3	2/3	0	25,5	74,5	0,0	0,84
3	2/3	0	1/3	28,0	69,4	2,6	0,69
4	2/3	1/3	0	28,0	72,0	0,0	0,8
5	1/3	0	2/3	25,5	69,4	5,1	0,65
6	0	0	1	22,9	69,4	7,7	0,5
7	0	1/3	2/3	22,9	72,0	5,1	0,78
8	1/3	1/3	1/3	25,5	72,0	2,6	0,7
9	0	1	0	22,9	77,1	0,0	1,05
10	1	0	0	30,6	69,4	0,0	0,75

Оценочные эффекты полной модели для кислотности представлены в таблице 6.

Таблица 6. Оценочные эффекты полной модели для кислотности

Значения	Сумма квадратов	Различие	Средний квадрат	F-отношение	Значение Р
Средний	5,88289	1	5,88289		
Линейный	0,178013	2	0,0890067	25,13	0,0006
Квадратичный	0,016313	3	0,00543768	2,56	0,1926
Специальный кубический	0,00485771	1	0,00485771	4,02	0,1387
Кубический	0,00362586	3	0,00120862		
Ошибка	-1,09678E-15	0	0		
Итого	6,0857	10			

В этой таблице показаны результаты подгонки различных моделей к данным кислотности. Средняя модель состоит только из константы. Линейная модель состоит из членов первого порядка для каждой из компонент. Квадратичная модель добавляет перекрестные произведения между парами компонентов. Специальная кубическая модель добавляет термины, включающие произведения трех компонентов. Кубическая модель добавляет другие члены третьего порядка. Каждая модель показана с Р-значением, которое проверяет, является ли эта модель статистически значимой по сравнению со средним квадратом для приведенного ниже термина. Так как, значение Р меньше 0,05 только при линейной модели, поэтому дальше будем использовать линейную модель, дисперсионный анализ приведена в таблице 7.

Таблица 7. Дисперсионный анализ влажности макаронных изделий с замещением пшена (ANOVA)

Значения	Сумма квадратов	Различие	Средний квадрат	F-отношение	Значение Р
Линейная модель	0,178013	2	0,0890063	25,13	0,0006
Total error	0,0247973	7	0,00354247		
Total (corr.)	0,20281	9			

В этой таблице показан дисперсионный анализ для текущей выбранной линейной модели. Поскольку Р-значение для этой модели меньше 0,05, существует статистически значимая связь между кислотностью и компонентами на уровне достоверности 95,0%.

Тест на несоответствие предназначен для определения того, адекватна ли выбранная модель для описания наблюдаемых данных или следует использовать более сложную модель. Тест выполняется путем сравнения изменчивости невязок текущей модели с изменчивостью между наблюдениями при повторных настройках компонентов. К сожалению, в этом случае провести тест невозможно, так как нет повторных наблюдений.

Статистика R-квадрата показывает, что подобранная модель объясняет 87,7731% изменчивости кислотности в зависимости от компонентов замеса. Скорректированная статистика R-квадрата, которая больше подходит для сравнения моделей с разным количеством независимых переменных, составляет 84,2797%. Стандартная ошибка оценки показывает, что стандартное отклонение остатков равно 0,0595187. Средняя абсолютная ошибка (MAE) 0,0456009 представляет собой среднее значение остатков. Статистика Дарбина-Ватсона (DW) проверяет остатки, чтобы определить, существует ли какая-либо существенная корреляция на основе порядка, в котором они встречаются в данных. Поскольку Р-значение больше 5,0%, нет никаких указаний на серийную автокорреляцию в остатках на уровне значимости 5,0%. Результаты подбора линейной модели для кислотности и коэффициенты регрессии приведены в таблице 8.

Таблица 8. Результаты подбора линейной модели для кислотности

Компоненты	Коэффициенты	Ошибка
А:Вода	0,716999	0,0420861
В:Пшеничная мука	1,019	0,0420861
С:Пшено	0,564998	0,0420861

Таким образом, зависимость кислотности от компонентов замеса теста для макаронных изделий может быть представлена в виде массовой доли ингредиентов по отдельности, и уравнение регрессии можно записать в следующем виде:

$$y = 0,717x_1 + 1,019x_2 + 0,565x_3$$

На основании полученной уравнения регрессии строили модель в трехмерном пространстве, представляющую собой плоскость, которая характеризует зависимость кислотности от массовой доли компонентов замеса теста для производства макаронных изделий. На рисунках 7-8 приведены графические изображения графиков зависимостей.

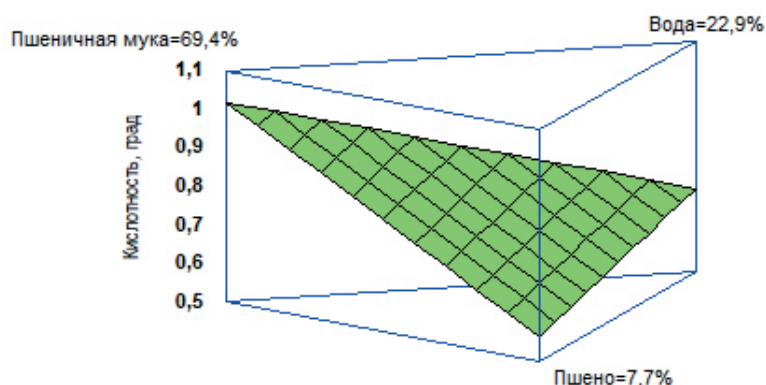


Рисунок 7. Поверхность отклика выходного параметра - зависимость кислотности от массовой доли компонентов

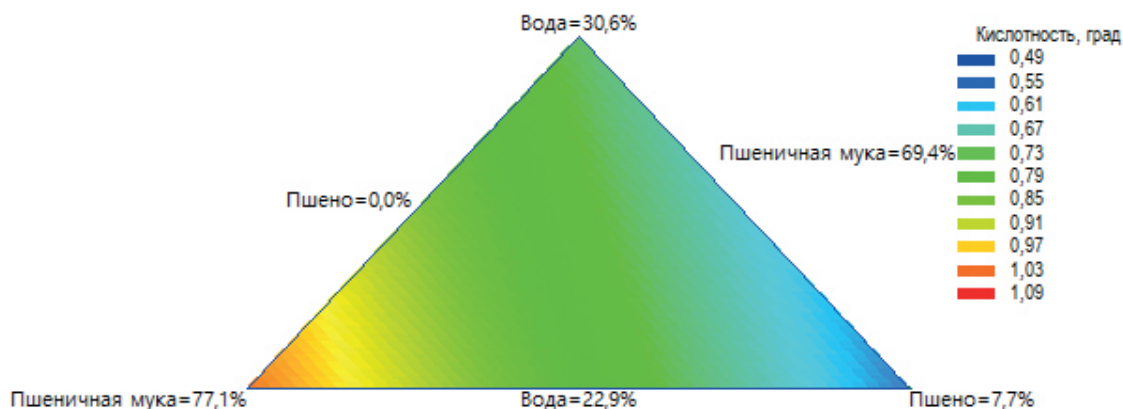


Рисунок 8. Проекция сечений поверхности отклика, характеризующие зависимость кислотности от массовой доли компонентов

4. Заключение

Анализ поведения полученной поверхности откликов показал, что оптимальной зоной влажности для макаронных изделий с замещением пшена, которые достигаются, когда температура сушки составляет 96°C и продолжительность сушки длится 2 часа 13 минут.

Таким образом, полученные результаты позволят оптимизировать исследуемый процесс путем применения разработанной математической модели.

Анализ поведения полученной поверхности откликов показал, что оптимальной зоной кислотности макаронных изделий с замещением пшена, которые достигаются, когда массовое доля воды составит 22,9%, массовое доля пшеничной муки 69,4% и массовое доля пшена 7,7%.

Результаты позволяют подобрать рецептуру макаронных изделий путем применения разработанной математической модели.

Получен патент на полезную модель № 7071 в РГП «Национальный институт интеллектуальной собственности».

Список литературы

1. ГОСТ 31743-2017 «Изделия макаронные. Общие технические условия».
2. ТР ТС 021/2011 «О безопасности пищевой продукции».
3. Медведев Г.М. Технология макаронных изделий. - СПб: ГИОРД. - 2005. - 312 с.
4. Goal 2: Zero Hunger. [Электронный ресурс] - 2022. - URL: <https://www.iso.org/ru/sdg/SDG02.html> (дата обращения 16.09.2023)
5. Республике Казахстан принят Закон Республики Казахстан от 21 июля 2007 года N 301 «О безопасности пищевой продукции» (далее - Закон). Закон устанавливает правовые основы обеспечения безопасности пищевой продукции для защиты жизни и здоровья человека, законных интересов потребителей и охраны окружающей среды на территории Республики Казахстан
6. Karimova G., Niyazbekova R., Al Azzam K., Negim E.-S., Ibzhanova A. Development of new technologies (recipes) to produce pasta with the addition of millet and the determination of organoleptic and physicochemical quality indicators //Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences this link is disabled. - 2023. - Vol.17. - P.371-390.
7. Zarzycki P., Sykut-Domanska E., Sobota, A., Teterycz D., Krawecka A., Blicharz-Kania A., Andrejko D., Zdybel B. Flaxseed enriched pasta-chemical composition and cooking quality // - 2020. - Vol.9. - P. 1-10.
8. Bianchi F., Tolve R., Rainero G., Bordiga M., Brennan C.-S., Simonato B. Technological, nutritional and sensory properties of pasta fortified with agroindustrial byproducts: a review //International Journal of Food Science & Technology. - 2021. - Vol.56. - P. 4356-4366.

9. Gull A., Prasad K., Kumar P. Effect of millet flours and carrot pomace on cooking qualities, color and texture of developed pasta// LWT - Food Science and Technology. - 2015. - Vol. 63. - P. 470-474.
10. Kamble D.B., Singh R., Rani S. & Pratap D. Physicochemical properties, in vitro digestibility and structural attributes of okara-enriched functional pasta //Journal of Food Processing and Preservation. - 2019. - Vol. 43. - P.1-9.
11. Michalak-Majewska M., Teterycz D., Muszynski S., Radzki W. & Sykut-Domanska E. Influence of onion skin powder on nutritional and quality attributes of wheat pasta. - 2020. - Vol.15. - P. 1-15.
12. Crizel T.M., Rios A.O., Thys R.C.S. & Flores S.H. Effects of orange by-product fiber incorporation on the functional and technological properties of pasta //Food Science and Technology. - 2015. - Vol.35. - P. 546-551.
13. Aranibar C., Pigni N.B., Martinez M. et al. Utilization of a partially-deoiled chia flour to improve the nutritional and antioxidant properties of wheat pasta //LWT - FoodScienceandTechnology. - 2015. -Vol. 89. - P.381-387.
14. Loncaric A., Kosovic, I. Jukic, M. Ugarcic, Z. & Pili zota. Effect of apple by-product as a supplement on antioxidant activity and quality parameters of pasta. //Croatian Journal of Food Science and Technology. - 2015. - Vol. 6. - P. 97-103.
15. Pasqualone A., Punzi R., Trani A. et al. Enrichment of fresh pasta with antioxidant extracts obtained from artichoke canning by-products by ultrasound-assisted technology and quality characterisation of the end product //International Journal of Food Science and Technology. - 2017. - Vol. 52. - P. 2078-2087.
16. ГОСТ 31964-2012 «Изделия макаронные. Правила приемки и методы определения качества».
17. ТР ТС 022/2011 «О безопасности пищевой продукции».
18. Рентгенофлуоресцентные анализаторы. [Электронный ресурс] - 2016. - URL: <https://alfatest.ru/support/articles/rentgenofluorestantsnye-analizatory-rfa-spektrometry/> (дата обращения 12.09.2023)

Сапа көрсеткіштерін анықтайтын стандарттау құралдары

Г.Қ. Кәрімова¹, Р.К. Ниязбекова¹, Ж.К. Даниярова²

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

²Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан

Аннотация. Макарон өнімдері бүкіл әлемде тұтынылатын өнімдердің бірі болып табылады, осыған байланысты технологияларды жетілдіру және сапа көрсеткіштерін жақсарту саласында зерттеулер жүргізу өте өзекті болып табылады. Кәсіпорындарда өнімнің технологиялық қасиеттері үнемі тексеріліп отырады, өйткені сапаны бақылау мен сапа жүйесіне байланысты проблемалар бар.

Макарон өнімдерін өндіруде көптеген технологиялар бар, оларға сәйкес әртүрлі тағамдық қоспаларды пайдалану көзделеді, олар өз кезегінде бақылауда болуы және заңнамалық талаптарға, ЕАЭО мен Қазақстан Республикасының техникалық регламенттеріне, стандарттарға сәйкес келуі тиіс.

Мақалада тары қосылған макарон өнімдерінің сапа көрсеткіштерін анықтайтын стандарттау құралдары қарастырылады. Сапа көрсеткіштері ГОСТ 31743-2017 «Макарон өнімдері. Жалпы техникалық шарттар» (бұдан әрі-МЕМСТ 31743-2017), КО ТР 021/2011 «Тамақ өнімдерінің қауіпсіздігі туралы» қауіпсіздік көрсеткіштері.

ГОСТ 31743-2017 сәйкес макарон өнімдерінің сапа көрсеткіштерінің бірі «Ылғалдылық» болып табылады. Ылғалдылықтың жоғарылауы тығыздалған қамырдағы ұн бөлшектерін қоршап тұрған сольват қабықшаларының қалыңдығының артуына, яғни қамырдың когезиялық беріктігінің төмендеуіне әкеледі.

Зерттеу «ылғалдылық» көрсеткішіне әсер ететін факторларды анықтайды. Парето диаграммасы, рентген-флуоресцентті анализатор, математикалық модель және себеп-салдар диаграммасы қолданылды.

Стандарттау құралдарын қолдана отырып, макаронды кептіру процесінде «температура мен кептіру ұзақтығы» басым факторлар болып табылатындығы анықталды. Алынған нәтижелер «ылғалдылық» сапа көрсеткіші бойынша МЕМСТ 31743-2017 талаптарына сәйкес келеді.

Түйін сөздер. Стандарттау, мемлекетаралық стандарттар, техникалық регламенттер, сапа көрсеткіштері, макарон өнімдері, тары, Парето диаграммасы.

Standardization tools for determining quality indicators

G. K. Karimova¹, R. K. Niyazbekova¹, Zh. K. Daniyarova²

¹S. Seifullin Kazakh agrotechnical research university, Astana, Kazakhstan

²Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

Abstract. Pasta is one of the products that are consumed all over the world, and therefore research in the field of technology improvement and improvement of quality indicators is very relevant. At enterprises, the technological properties of products are constantly checked, because there are problems associated with quality control and quality system.

There are many technologies in the production of pasta, according to which the use of various food additives is envisaged, which in turn must also be controlled and comply with legislative requirements, technical regulations of the EAEU and the Republic of Kazakhstan, standards.

The article discusses standardization tools that determine the quality indicators of pasta with the addition of millet. Quality indicators are set in GOST 31743-2017 "Pasta products. General technical conditions" (hereinafter - GOST 31743-2017), safety indicators in TR CU 021/2011 "On food safety".

In accordance with GOST 31743-2017, one of the indicators of the quality of pasta is "humidity". An increase in humidity leads to an increase in the thickness of the solvate shells surrounding the flour particles in the compacted dough, which means a decrease in the cohesive strength of the dough.

The study identified factors affecting the "humidity" indicator. A Pareto diagram, an X-ray fluorescence analyzer, a mathematical model and a causal relationship diagram were used.

Using standardization tools, it was determined that during the drying process of pasta, the dominant factors are "temperature and duration of drying". The results obtained meet the requirements of GOST 31743-2017 in terms of the quality indicator "humidity".

Keywords. Standardization, interstate standards, technical regulations, quality indicators, pasta, millet, Pareto diagram.

References

1. GOST 31743-2017 "Pasta products. General technical conditions".
2. TR CU 021/2011 "On food safety".
3. Medvedev G.M. Technology of pasta. - St. Petersburg: GIORD. - 2005. - 312 p.
4. Goal 2: Zero Hunger. [Электронный ресурс] - 2022. - URL: <https://www.iso.org/ru/sdg/SDG02.html> (дата обращения 16.09.2023).
5. The Republic of Kazakhstan has adopted the Law of the Republic of Kazakhstan dated July 21, 2007 No. 301 "On Food safety" (hereinafter - the Law). The Law establishes the legal basis for ensuring the safety of food products to protect human life and health, the legitimate interests of consumers and environmental protection in the territory of the Republic of Kazakhstan
6. Karimova G., Niyazbekova R., Al Azzam K., Negim E.-S., Ibzhanova A. Development of new technologies (recipes) to produce pasta with the addition of millet and the determination of organoleptic and physicochemical quality indicators //Potravinarstvo Slovak Journal of Food Sciences this link is disabled. - 2023. - Vol.17. - P.371-390.
7. Zarzycki P., Sykut-Domanska E., Sobota, A., Teterycz D., Krawecka A., Blicharz-Kania A., Andrejko D., Zdybel B. Flaxseed enriched pasta-chemical composition and cooking quality // - 2020. - Vol. 9. - P. 1-10.
8. Bianchi F., Tolve R., Rainero G., Bordiga M., Brennan C.-S., Simonato B. Technological, nutritional and sensory properties of pasta fortified with agroindustrial byproducts: a review //International Journal of Food Science & Technology. - 2021. - Vol.56. - P. 4356-4366.
9. Gull A., Prasad K., Kumar P. Effect of millet flours and carrot pomace on cooking qualities, color and texture of developed pasta// LWT - Food Science and Technology. - 2015. - Vol. 63. - P. 470-474.
10. Kamble D.B., Singh R., Rani S. & Pratap D. Physicochemical properties, in vitro digestibility and structural attributes of okara-enriched functional pasta //Journal of Food Processing and Preservation. - 2019. - Vol. 43. - P.1-9.
11. Michalak-Majewska M., Teterycz D., Muszynski S., Radzki W. & Sykut-Domanska E. Influence of onion skin powder on nutritional and quality attributes of wheat pasta. - 2020. - Vol.15. - P. 1-15.

12. Crizel T.M., Rios A.O., Thys R.C.S. & Flores S.H. Effects of orange by-product fiber incorporation on the functional and technological properties of pasta //Food Science and Technology. - 2015. - Vol.35. - P. 546-551.
13. Aranibar C., Pigni N.B., Martinez M. et al. Utilization of a partially-deoiled chia flour to improve the nutritional and antioxidant properties of wheat pasta //LWT - FoodScienceandTechnology. - 2015. -Vol. 89. - P.381-387
14. Loncaric A., Kosovic, I. Jukic, M. Ugaric, Z. & Pili zota. Effect of apple by-product as a supplement on antioxidant activity and quality parameters of pasta. //Croatian Journal of Food Science and Technology. - 2015. - Vol. 6. - P. 97-103.
15. Pasqualone A., Punzi R., Trani A. et al. Enrichment of fresh pasta with antioxidant extracts obtained from artichoke canning by-products by ultrasound-assisted technology and quality characterisation of the end product //International Journal of Food Science and Technology. - 2017. - Vol. 52. - P. 2078-2087.
16. GOST 31964-2012 "Pasta products. Acceptance rules and methods of quality determination".
17. TR CU 022/2011 "On food safety"
18. X-ray fluorescence analyzers [electron. resource]. – 2016. - URL: <https://alfatest.ru/support/articles/rentgenofluorestsentye-analizatory-rfa-spektrometry/> (date of application 12.09.2023 г.)

А.Н. Конкыбаева¹, К.Т. Шеров^{2*}, Е.Б. Иманбаев³, С.О. Тусупова⁴,
А.Е. Окимбаева⁵, Н.Ж. Карсакова⁶

^{1,2}Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,
Астана, Казахстан

³ТОО «Электровоз курастыру зауыты», Астана, Казахстан

⁴Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

^{5,6}Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, Караганда, Казахстан
E-mail: Arai_janaarka@mail.ru, shkt1965@mail.ru, y.imanbayev@gmail.com, suleeva.s@
inbox.ru, erkinovna89@mail.ru, karsakova-87@mail.ru

Исследование влияния качества ремонтно-восстановительных работ на эффективность работы городского пассажирского транспорта

Аннотация. В данной статье приводятся результаты исследования работы городского пассажирского транспорта (ГПТ) в условиях густонаселенных городов Республики Казахстан, в частности г. Астана и г. Караганда. А также состояние ремонтно-восстановительного производства автобусных парков (АП) и её влияние на качество организации и эффективности ГПТ. В результате исследования было выявлено, то что одной из неисправностей, которая носит циклический характер является износ бугелей ступицы заднего моста ходовой части автобусов, в частности автобусов марки IVECO, которые составляют большую долю подвижного состава. Установлено, что неисправность узла ходовой части отрицательно влияет на уровень технической готовности и коэффициента выхода на линию подвижного состава, а также на уровень безопасности движения на дорогах.

Была исследована технология ремонта и восстановления изношенных деталей бугеля ступицы заднего моста ходовой части автобусов марки IVECO в условиях АП. Выявлено, что, существующая в АП технология ремонта ступиц восстановлением бугелей несовершенна, в связи с чем межремонтный пробег недостаточно велик.

Для решения данной проблемы необходима разработка новой технологии ремонта и восстановления изношенных бугелей ступицы, обеспечивающая высокую твердость и износостойкость восстановленных поверхностей.

Ключевые слова: городской пассажирский транспорт, ремонтно-восстановительная работа, задний мост, ступица, бугель, износостойкость

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-124-134

1. Введение

Развитие пассажирских автотранспортных перевозок является одним из важнейших условий повышения уровня социально-экономического развития страны и обеспечения устойчивого развития регионов. Такое существенное влияние обусловлено преимуществами автотранспорта по сравнению с другими видами транспорта – его высокой маневренностью и подвижностью, доступностью, необходимостью меньших капитальных вложений в строительство инфраструктуры и др [1].

В работе [1] также отмечается, что на долю Республики Казахстан (РК) приходится 2% поверхности земного шара, 6,1% - Азии и тем самым Республика Казахстан является

одним из наиболее малонаселенных регионов в мире (6,2 человека на 1 кв. км), роль пассажирского автомобильного транспорта для Казахстана, занимающий огромную территорию, приобретает особое значение. Вопросам перевозки пассажиров с использованием пассажирского автомобильного транспорта также особое внимание уделяется и в зарубежных странах [2,3,4].

В условиях географической структуры расположенности населенных пунктов Казахстана, пассажирский автомобильный транспорт является основным видом транспорта в перевозочном процессе, так как на его долю приходится 98 % объема перевозок от общего объема перевозок всеми видами транспорта [1].

Было исследовано состояние пассажирских перевозок в 5 крупных городах Казахстана (Астана, Алматы, Караганда, Шымкент, Актобе) с населением более 500 тысяч человек и было выявлено, что 92-99% объема перевозки пассажиров осуществляется автобусами [5]. Также было установлено, что на эффективность работы автобусного подвижного состава, наряду с другими показателями, оказывают существенное влияние и уровень качества организации и выполнения ремонтно-восстановительных работ в условиях отечественных автопредприятий.

Результаты исследования выполненные в работах [6,7,8] также показывают, что наибольшее число отказов (до 80%) обусловлено процессами изнашивания или комплексными причинами, где изнашивание играет доминирующую роль. Большинство поступивших в ремонт деталей выбраковываются вследствие износа рабочих поверхностей, составляющего не более 1% исходной массы детали [6,7].

В связи с этим работа, направленная для исследования данного вопроса, является актуальной.

2. Основная часть

Было проведено исследование по данному вопросу в условиях АП №1 г. Астаны. В АП №1 имеются 502 городских автобусов (12м и 18м), работающих на 46 маршрутах и 80 пригородных автобусов на 25 маршрутах, которые выпущены в 2014 году. Городские маршруты обслуживают автобусы: 1, 1А, 3, 4, 4А, 5, 5А, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 15, 15А, 16, 17, 18, 20, 21, 22, 22А, 23, 24, 25, 29, 29А, 30, 32, 35, 36, 40, 41, 43, 44, 45, 54, 60, 61, 71, 72, 73, 80, 120, 120А, 121.

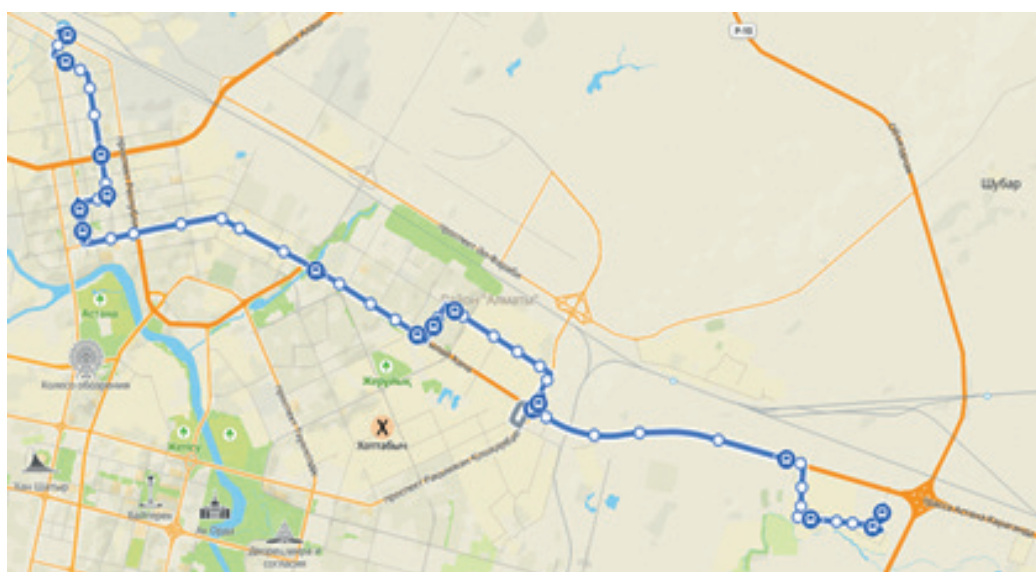
А пригородные маршруты обслуживают автобусы: 300, 302, 303, 304, 305, 306, 307, 308, 309, 310, 311, 312, 313, 314, 315, 316, 317, 318, 319, 320, 321, 322, 323, 326, 327.

На рисунке 1 показаны автобусы и микроавтобусы марки IVECO, которые составляют большую долю подвижного состава АП №1.

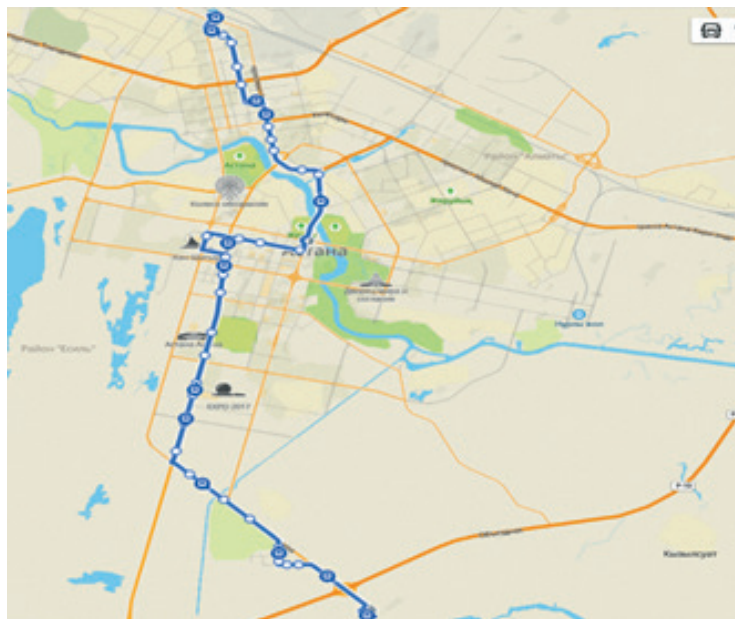


Рисунок 1 – Автобусы и микроавтобусы марки IVECO

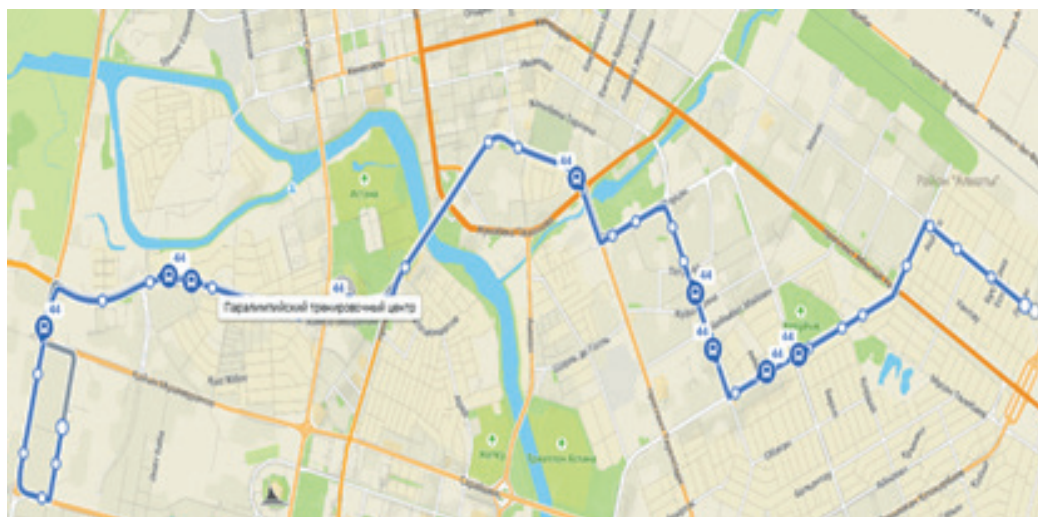
На рисунке 2 показаны схемы некоторых городских маршрутов г. Астаны.



а)



б)



в)

а - схема маршрута №9; б - схема маршрута №10; в - схема маршрута №44

Рисунок 2 - Схемы некоторых городских маршрутов г.Астаны

В таблице 1 приводятся основные показатели некоторых городских маршрутов г. Астаны.

Таблица 1 - Основные показатели некоторых городских маршрутов г. Астаны

№ Маршрута	Основные показатели					
	Конечные остановки и время курсирования	Интервал во время час пик, мин	Протяженность 1 оборота, км	Количество оборотов в раб. / вых. дни	Время оборота, мин	Количество автобусов в раб. / вых. дни
9	Старый вокзал – Детский сад «Даурен» (6:30–21:50)	6 – 20	44	104 / 70	150	21 / 13
10	Старый вокзал – Международный аэропорт (6:20 – 22:00)	5 – 15	51	120 / 92	140	24 / 17
44	ЖК «Жағалау-3» – Гипермаркет «Строй Март» (06:15–21:10)	8 – 20	32	73 / 63	119	12 / 10

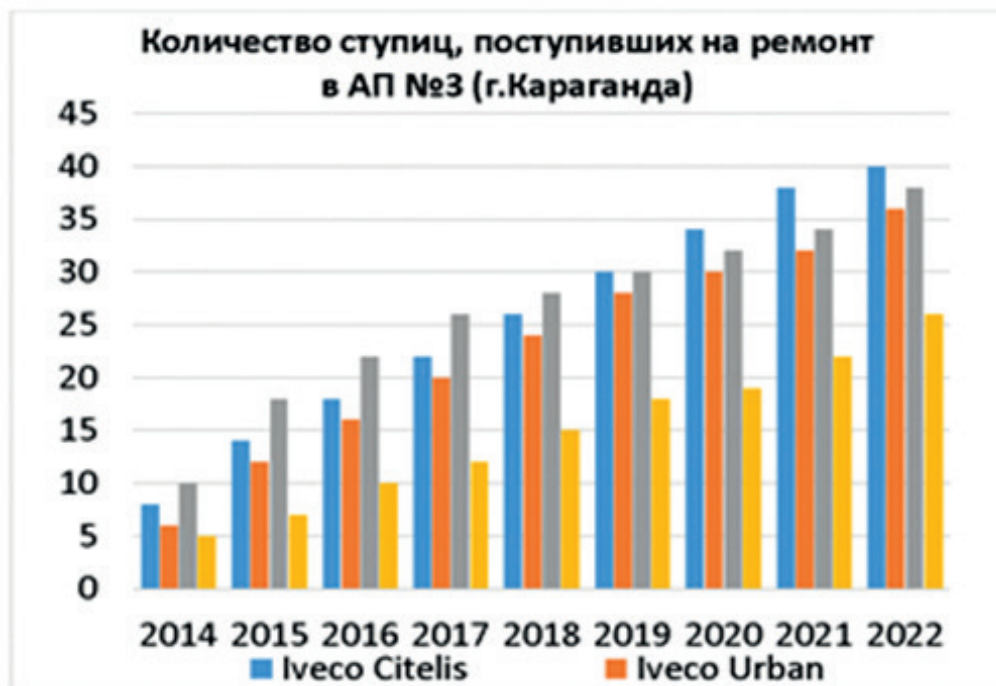
АП №1 имеет ремонтную базу, которая включает крытый гараж-бокс для хранения и ремонта подвижного состава вместимостью 400 ед., зону с ямами, сварочный цех, слесарный токарный цех, склады для хранения з/ч. В ремонтной базе производится ремонт и восстановление деталей и узлов автобусов, в частности автобусы марки Iveco Citelis, Iveco Urban, Iveco Cross Way.

В результате исследования было выявлено, что одной из неисправностей, которая носит циклический характер является износ бугелей ступицы заднего моста ходовой части автобусов. Износу подвергаются бугели ступицы, служащие опорой для диска колеса при затяжке колесных гаек. При ослаблении затяжки гаек диск обретает свободный ход и ударными нагрузками, сопровождающимися трением, начинает стирать бугели. Такое состояние проблемы выявлены также и в других АП крупных городов РК.

На рисунке 3 приводятся результаты исследования в условиях АП городов Астана и Караганда.



а)



б)

а – АП №1 г. Астана; б – АП №3 г. Караганда

Рисунок 3 - Результаты исследования в условиях АП городов Астана и Караганда

Данный вид неисправности периодический часто появляется у автобусов марки IVECO, в частности большинство из них является сочлененными с длиной 18 м.

Неисправность узла ходовой части отрицательно влияет на уровень технической готовности и коэффициента выхода на линию подвижного состава, а также на уровень безопасности движения на дорогах.

Если учесть, что ежедневно городские автобусы марки IVECO совершают пробег в среднем 250 км с протяженностью маршрутов 23-62 км, то при возникновении неисправности своевременная замена затруднительна или вовсе невозможна.

По данным автобусных парков, ежегодно у более 4 % автобусов возникает поломка задней ступицы. В отличие от передней ступицы, на заднюю приходится вдвое больший вес автобуса, что приводит к ее быстрому износу при ослаблении колесных гаек.

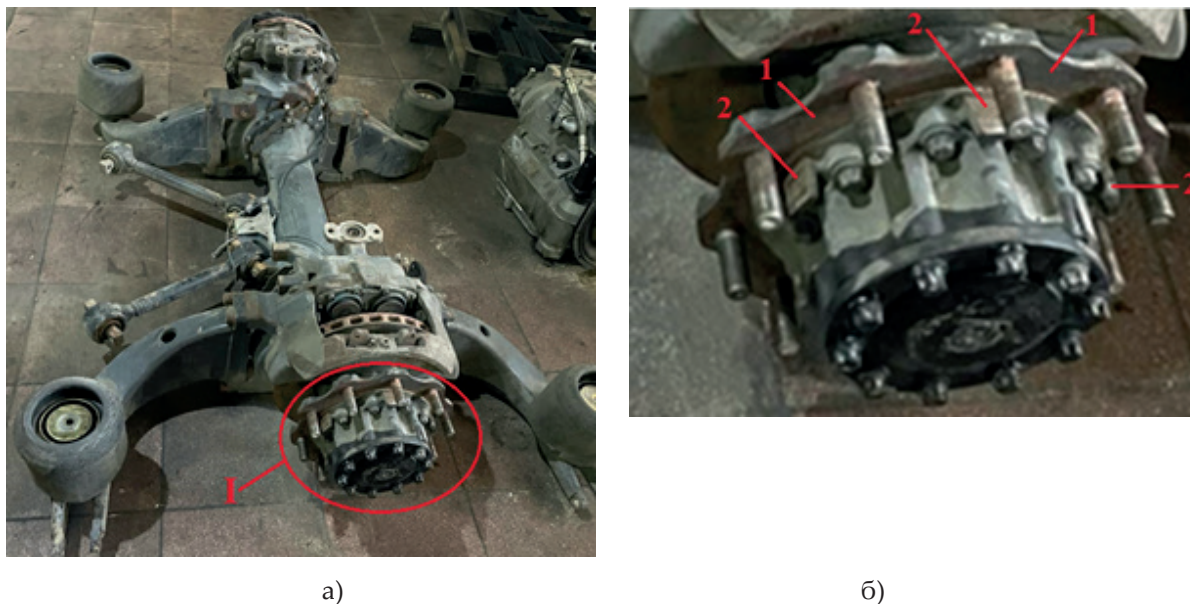
Ступица (передняя и задняя) ходовой части автобуса является основной деталью узла, которая испытывает большие нагрузки. Она соединяет колесо и подвеску автобуса. К ступице крепятся колесо, тормозные диски (или барабаны), различные датчики (скорости, ABS, управления и другие технические показатели). От исправности данной детали зависит безопасность дорожного движения.

Ступица колеса является одной из дорогостоящих деталей автобуса. Стоимость новой детали – от 200 тыс. тенге.

В связи с относительно высокой стоимостью ступицы заднего моста, предприятию выгоднее ремонт и восстановление изношенных бугелей ступицы заднего моста нежели покупка целой ступицы. Так как её покупка приводит к большим затратам связанные с заказом, доставкой и высокой стоимостью, кроме этого уходит больше времени (3-6 месяцев) для получения заказа, что увеличивает время простоя автобуса.

3. Результаты и обсуждения

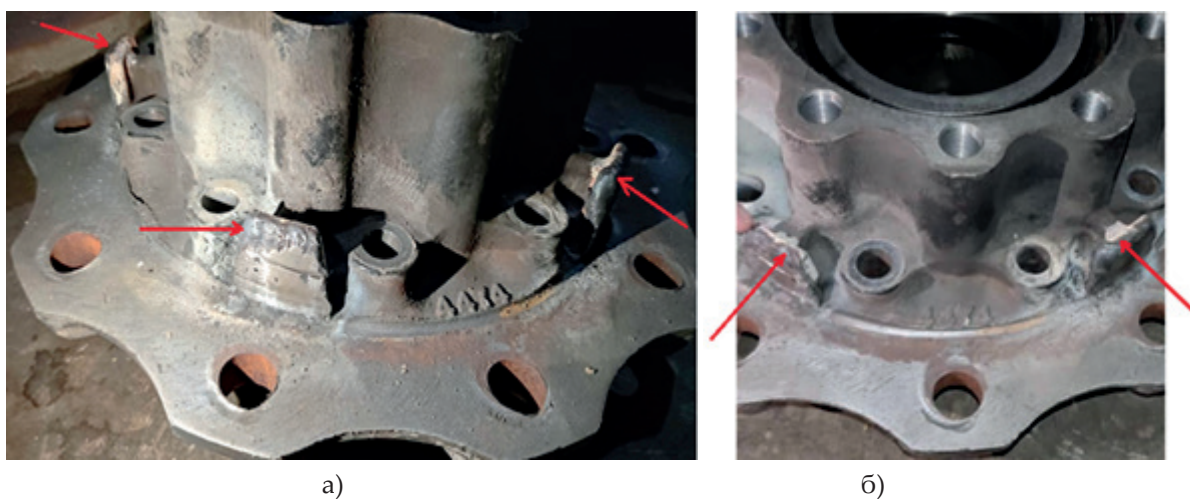
На рисунке 4 показан задний мост автобуса марки IVECO.



а – задний мост; б – выноска I; 1 – ступица заднего моста; 2 – изношенные бугеля ступицы

Рисунок 4 – Задний мост автобуса марки IVECO

На рисунке 5 показана ступица заднего моста автобуса марки IVECO с изношенными бугелями.



а, б – ступицы с изношенными бугелями;  - указаны изношенные поверхности бугелей

Рисунок 5 - Ступица заднего моста автобуса марки IVECO с изношенными бугелями

На ускорение износа бугеля ступицы, как показала практика, влияют три фактора: попадание влаги на колесные гайки, недостаточный момент затяжки этих гаек и конструктивные особенности ступицы (форма и количество бугелей).

Первый фактор в условиях города является в большей степени погодным и климатическим. Второй фактор – человеческий, зависит от прилежности ремонтных рабочих и уровня технического контроля. А третий фактор закладывается на заводе изготовителе и никак не поддается воздействию при эксплуатации автобусов.

В практике автобусного парка № 1 бывали случаи, когда колесный диск даже выпадал со ступицы и автобус терял устойчивость и управляемость. Это в свою очередь угрожает безопасности пассажиров и других участников дорожного движения. Поэтому исправность узлов ходовой части автобусов имеет первостепенную важность.

В условиях АП №1 (г. Астана) разработана технология ремонта и восстановления изношенных деталей бугеля ступицы заднего моста ходовой части автобусов марки IVECO. Однако существующая в автопредприятии технология ремонта ступиц восстановлением бугелей несовершенна, поэтому межремонтный пробег недостаточно велик.

Технология состоит из следующих основных операций: подготовка поверхностей бугелей для нанесения наплавки, наплавка изношенных поверхностей бугелей, механическая обработка наплавленных поверхностей бугелей под рабочий размер. Наплавка осуществляется методом ручной дуговой сварки и рекомендуется использование электродов J422 (E 4303) производства Республики Китай, а также электроды ЭР-5 и УОНИ 13/55 производства Павлодарского электродного завода (Казахстан). Наплавки выполненные электродом J422 (E 4303) обладают меньшей износостойкостью, чем наплавки выполненные электродами ЭР-5 и УОНИ 13/55. При этом для восстановления бугелей используются электроды J422 (E 4303). Так как наплавки, полученные электродами ЭР-5 и УОНИ 13/55, имеют высокую твердость (и износостойкость) из-за чего сложно поддаются механической обработке или во все не поддаются. Данная проблема препятствует производству АП использование наплавочных материалов (электродов) более высокой твердостью и износостойкостью. Решение её требует разработку специальной технологии механической обработки для условий производства АП, которая позволит использование наплавочных материалов (электродов) с более высокой твердостью и износостойкостью.

4. Выводы

Результаты исследования проведенные в условиях АП №1 (г. Астана) и №3 (г. Караганда) показали, что несмотря на развитие различных видов транспорта, на сегодня в городах Казахстана автобусы являются основным видом транспорта, осуществляющие регулярные массовые пассажирские перевозки.

Выявлено, что по данным автобусных парков, ежегодно у более 4 % автобусов возникает поломка задней ступицы связанная с преждевременным износом бугелей, которая отрицательно влияет на эффективность работы городского пассажирского транспорта. Существующая в условиях АП технология ремонта и восстановления изношенных бугелей ступицы заднего моста автобусов марки IVECO не обеспечивает требуемой твердости и износостойкости. Данное состояние проблемы диктует необходимость разработки новой технологии ремонта и восстановления изношенных бугелей ступицы, обеспечивающее высокую твердость и износостойкость наплавленных поверхностей.

Список литературы

1. Лавриненко Ю.И., Алигужинов С.К., Аманбаев С.Ш. и др. Исследование состояния автотранспортных перевозок пассажиров в международном и межобластном сообщениях, анализ путей развития и разработка рекомендаций по решению проблем. Отчёт по выполнению проекта.

Союз автотранспортников Республики Казахстан (КАО). Корпоративный фонд «KAZLOGISTICS» - Алматы – 2021, 149 с. <https://kazlogistics.kz/ru/research/7>

2. Menno Yip, Oded Cats (2022) Analysis and prediction of ridership impacts during planned public transport disruptions. Journal of Public Transportation. Volume 24, 2022, 100036. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpubtr.2022.100036>

3. Alvaro Rodriguez-Valencia, Hernan Alberto Ortiz-Ramirez, Willis Simancas, Jose Agustin Vallejo-Borda (2022) Understanding transit user satisfaction with an integrated bus system. Journal of Public Transportation Volume 24, 2022, 100037. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpubtr.2022.100037>

4. Weinstein, A. (2000) Customer satisfaction among transit riders: how customers rank the relative importance of various service attributes. Transp. Res. Rec. 1735, 123–132. DOI: <https://doi.org/10.3141/1735-15>

5. Статистика регионов РК. Бюро национальной статистики Агентства по стратегическому планированию и реформам Республики Казахстан. режим доступа: <https://new.stat.gov.kz>.

6. Зиновьев В.Е. Повышение сроков службы восстановленных деталей ходовой части подвижного состава. Автореферат дис. кандидат технических наук: 05.22.07 - Подвижной состав железных дорог, тяга поездов и электрификация. Ростов-на-Дону. 1999. 22 с.

7. Шлапоберский А.А. Методика повышения долговечности узлов трения ходовой части автотранспортных средств на основе композиционных материалов. / Автореферат диссертации на соискание ученой степени кандидата технических наук по специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта - Санкт-Петербург, «Изд-во.: Санкт-Петербургский ГАСИ, 2020, 21с.

8. Шатерников М.В. Повышение эффективности ремонтного обслуживания дизелей автомобилей, работающих в условиях карьеров / Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата технических наук по специальности 05.22.10 – Эксплуатация автомобильного транспорта – Орел, «Приокский государственный университет», 2016, 20с.

Қалалық жолаушылар көлігінің жұмыс тиімділігіне жөндеу-қалпына келтіру жұмыстары сапасының әсерін зерттеу

А.Н. Конкыбаева¹, К.Т. Шеров^{2*}, Е.Б. Иманбаев³, С.О. Тусупова⁴, А.Е. Окимбаева⁵,
Н.Ж. Карсакова⁶

^{1,2}С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

³«Электровоз құрастыру зауыты» ЖШС, Астана, Қазақстан

⁴Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан

^{5,6}А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

Аңдатпа. Бұл мақалада Қазақстан Республикасының халқы тығыз орналасқан қалалары, атап айтқанда Астана және Қарағанды қалаларының жағдайларында қалалық жолаушылар көлігінің (ҚЖК) жұмысын зерттеу нәтижелері келтіріледі. Сондай-ақ, автобус парктерінің (АП) жөндеу, қалпына келтіру өндірісінің жай-күйі және оның ҚЖК жұмысын ұйымдастыру сапасы мен тиімділігіне әсері де зерттелген. Зерттеу нәтижесінде циклдік сипаттағы ақаулардың бірі автобустардың жүріс бөлігінің артқы көпірінің күпшек тетігінің бүгелдерінің тез тозуы екендігі анықталды, атап айтқанда осы мәселе жылжымалы құрамның үлкен үлесін құрайтын IVECO маркалы автобустарда көп кездесетіні мәлім болды. Жүріс бөлігі түйінінің дұрыс жұмыс жасамауы техникалық дайындық деңгейіне және жылжымалы құрам желісінің шығу коэффициентіне, сондай-ақ жолдардағы қозғалыс қауіпсіздігінің деңгейіне теріс әсер ететіні анықталды. АП жағдайында IVECO маркалы автобустардың жүріс бөлігінің артқы көпір күпшегінің тозған бөлшектерін жөндеу және қалпына келтіру технологиясы зерттелді.

Нәтижеде АП жағдайында қолданылатын күпшек тетігінің бүгелдерін қайта қалпына келтіру технологиясы жетілдірілмегендігі және қойылған талаптарға сай емес екендігі айқындалды. Бұл мәселені шешу үшін қалпына келтірілген беттердің жоғары қаттылығы мен тозуға төзімділігін толығымен қамтамасыз ете алатын, күпшек бүгелдерін жөндеу және қайта қалпына келтірудің жаңа технологиясын әзірлеу қажет.

Кілтті сөздер: қалалық жолаушылар көлігі, жөндеу-қалпына келтіру жұмыстары, артқы көпір, күпшек, бүгель, тозуға төзімділік.

Research of the influence of the quality of repair and restoration works on the efficiency of urban passenger transport

A.N. Konkybaeva¹, K.T. Sherov^{2*}, Ye.B. Imanbaev³, S.O. Tussupova⁴, A.E. Okimbaeva⁵,
N.Zh. Karsakova⁶

^{1,2}Kazakh Agrotechnical Research University named after. S. Seifullina, Astana, Kazakhstan

«³Electric locomotive kurastyru заууыты» LLP, Astana, Kazakhstan

⁴Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

^{5,6}Karaganda Technical University named after. A. Saginova, Karaganda, Kazakhstan

Annotation. This article presents the results of a study of the work of urban passenger transport (UPT) in the conditions of densely populated cities of the Republic of Kazakhstan, in particular Astana and Karaganda. As well as the state of the repair and restoration production of bus fleets (BF) and its impact on the quality of the organization and efficiency of the UPT. As a result of the study, it was revealed that one of the malfunctions, which is cyclical in nature, is the wear of the hub lugs of the rear axle of the chassis of buses, in particular IVECO buses, which make up a large proportion of rolling stock. It is established that the malfunction of the chassis assembly negatively affects the level of technical readiness and the coefficient of access to the rolling stock line, as well as the level of traffic safety on the roads.

The technology of repair and restoration of worn parts of the hub of the rear axle of the chassis of IVECO buses in the conditions of the BF was investigated. It was revealed that the existing technology of hub repair in the BF by restoring the lugs is imperfect, and therefore the inter-repair mileage is not large enough.

To solve this problem, it is necessary to develop a new technology for repairing and restoring worn hub lugs, which ensures high hardness and wear resistance of the restored surfaces.

Keywords: urban passenger transport, repair and restoration work, backside, hub, lugs, wear resistance.

References

1. Lavrinenko Yu.I., Aliguzhinov S.K., Amanbaev S.Sh. etc. Study of the state of road transport of passengers in international and interregional communications, analysis of development paths and development of recommendations for solving problems. Project implementation report. Union of Motor Transport Workers of the Republic of Kazakhstan (KAO). Corporate Foundation "KAZLOGISTICS" - Almaty – 2021, 149 p. <https://kazlogistics.kz/ru/research/7>
2. Menno Yap, Oded Cats (2022) Analysis and prediction of ridership impacts during planned public transport disruptions. Journal of Public Transportation. Volume 24, 2022, 100036. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpubtr.2022.100036>
3. Alvaro Rodriguez-Valencia, Hernan Alberto Ortiz-Ramirez, Willis Simancas, Jose Agustin Vallejo-Borda (2022) Understanding transit user satisfaction with an integrated bus system. Journal of Public Transportation Volume 24, 2022, 100037. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.jpubtr.2022.100037>
4. Weinstein, A. (2000) Customer satisfaction among transit riders: how customers rank the relative importance of various service attributes. Transp. Res. Rec. 1735, 123–132. DOI: <https://doi.org/10.3141/1735-15>
5. Statistics of the regions of the Republic of Kazakhstan. Bureau of National Statistics Agency for Strategic Planning and Reforms of the Republic of Kazakhstan. access mode: <https://new.stat.gov.kz>.
6. Zinoviev V.E. Increasing the service life of restored parts of rolling stock chassis. Abstract of thesis. Candidate of Technical Sciences: 05.22.07 - Railway rolling stock, train traction and electrification. Rostov-on-Don. 1999. 22 p.
7. Shlapobersky A.A. Methodology for increasing the durability of friction units of the chassis of vehicles based on composite materials. / Abstract of the dissertation for the scientific degree of Candidate of Technical Sciences in specialty 05.22.10 – Operation of road transport - St. Petersburg, "Publishing house: St. Petersburg GASI, 2020, 21 p.
8. Shaternikov M.V. Increasing the efficiency of repair maintenance of diesel engines of cars operating in quarries / Abstract of the dissertation for the degree of candidate of technical sciences in the specialty 05.22.10 - Operation of road transport - Orel, "Prioksky State University", 2016, 20 p.

Сведения об авторах:

А.Н. Конкыбаева – магистр технических наук, докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, пр. Женис 62, Астана, Казахстан.

К.Т. Шеров – доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, пр. Женис 62, Астана, Казахстан.

Е.Б. Иманбаев – доктор PhD, Директор по качеству сервисного проекта, ТОО «Электровоз курастыру зауыты», Индустриальный парк, Улица А184, строение 10, Астана, Казахстан.

С.О. Тусупова – доктор PhD, старший преподаватель, Торайгыров университет, ул. Ломова 64, Павлодар, Казахстан.

А.Е. Окимбаева – магистр технических наук, старший преподаватель, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, пр. Н. Назарбаева 56, Караганда, Казахстан.

Н.Ж. Карсакова – магистр технических наук, старший преподаватель, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, пр. Н. Назарбаева 56, Караганда, Казахстан.

А.Н. Қонқыбаева – техника ғылымдарының магистрі, докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, Астана, Қазақстан.

К.Т. Шеров – техника ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, Астана, Қазақстан.

Е.Б. Иманбаев – PhD докторы, Қызметтік жобаның сапа бойынша директоры, «Электровоз курастыру зауыты» ЖШС, Индустриальдық паркі, А184 көшесі, 10 құрылыс, Астана, Қазақстан.

А.Е. Окимбаева – техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Н. Назарбаев даңғылы 56, Қарағанды, Қазақстан.

Н.Ж. Карсакова – техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, А. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Н. Назарбаев даңғылы 56, Қарағанды, Қазақстан.

A.N. Konkubayeva – Master of Technical Sciences, doctoral student, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 62 Zhenis Ave., Astana, Kazakhstan,

K.T. Sherov – Doctor of technical sciences, professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, 62 Zhenis Ave., Astana, Kazakhstan.

Ye.B. Imanbaev – PhD, Director for Service Project Quality, «Electric Locomotive Kurastyru Zauyty» LLP, Industrial Park, Street A184, building 10, Astana, Kazakhstan.

S.O. Tussupova – PhD, senior lecturer, Toraigyrov University, st. Lomova 64, Pavlodar, Kazakhstan.

A.E. Okimbayeva – Master of technical sciences, senior lecturer, A. Saginov Karaganda Technical University, 56 N. Nazarbayev Ave., Karaganda, Kazakhstan.

N.Zh. Karsakova – Master of Technical Sciences, senior lecturer, Karaganda Technical University named after A. Saginov, 56 N. Nazarbayev Ave., Karaganda, Kazakhstan.

A. Jexembayeva¹, I. Zakarin², M. Konkanov³, L. Aruova⁴

¹²³⁴L.N.Gumilyov Eurasian National University, 010008 Astana, Kazakhstan,
Kazhimukan street 13, r205
e-mail: ecoeducation@mail.ru

Road slag asphalt concrete

Abstract. Asphalt and concrete road surfaces are an essential part of the infrastructure of transport systems, and in recent years slag road asphalt has gained popularity as an efficient and environmentally friendly alternative. Slag asphalt, produced by incorporating slag, a by-product of industrial steel production, into asphalt concrete mixes, is the subject of this review article. The article presents a review of researches papers on the use of slag road asphalt. This article reviews the composition, production and physical and mechanical characteristics of slag asphalt concrete. Particular attention is paid to studies of the effect of slag on the strength, fracture resistance and deformation of the material. The authors provide an overview of the various methods of modifying slag asphalt to improve its performance and durability of road surfaces. The article also highlights the environmental importance of slag asphalt, generalized its ability to reduce the use of natural resources and reduce waste from the steel industry. The overall analysis of these articles suggests the potential of using slag road asphalt concrete as an effective and environmentally sustainable material in road construction. However, further research and practical tests are needed to confirm its applicability in different climatic and road conditions. The final part of the article discusses the significance of slag asphalt concrete in the context of sustainable road construction. The potential of slag asphalt to save costs in the construction and maintenance of road infrastructure, as well as to improve its durability and sustainability, is emphasized. In conclusion, the article provides a generalised overview of slag asphalt concrete, its advantages and promising applications in road construction.

Keywords: asphalt concrete, steel slag, silica fume, road surfaces

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-135-142

Introduction

Roads are strategically, economically and socially crucial for our country. The condition of roads that do not comply with road traffic rules and regulatory and technical requirements slows down the movement of transport and increases the number of accidents on the roads. Currently, more than 70% of the public road network in Kazakhstan has hard asphalt concrete pavements, which in the process of operation can experience various disturbances and deformations.

There is a need for a new approach to solving the issues of pavement durability under the conditions of real dynamic impact of vehicles on road structures in connection with the constant growth of traffic intensity on motorways, increasing load capacity and axle load of vehicles, increasing traffic speeds.

Currently, the service life of road pavements does not meet the required service life. The load on vehicle axles has increased significantly in recent years, and asphalt concrete pavements made in compliance with standards are losing smoothness and are covered with a network of fatigue and temperature cracks, which accelerates their destruction.

The service life of asphalt concrete pavements today, which used to be 15-18 years, is more often 8-12 and sometimes 3-4 years, which requires significant additional costs for road

repair and rehabilitation. Due to the expansion of the road network and the increase in road construction, material resources are in short supply. In this case, the possibility of increasing the strength of asphalt concrete pavements through the use of scarce, inexpensive production waste is an important task of road construction.

Research methods

There are several testing methods that are used to determine the characteristics of steel slag asphalt concrete. Physical tests measure density, water absorption, and other physical properties of the material. Mechanical tests are used to determine mechanical properties including resistance to wear, strength, and fatigue. Chemical analysis, microstructural analysis and thermal analysis are additional methods of investigation.

Researchers Zhao, Zenggang, Zipeng Wang, Shaopeng Wu, Jun Xie, Chao Yang, Na Li and Peide Cui used physical and mechanical testing in their experiments. They analysed characteristics such as moisture resistance, bending and strength and compared the results with Chinese standards, particularly GB/T 16899-2011: Testing methods for asphalt strength.

Researchers from the University of Jordan, including Naser, Mohammad, Mu'tasim Abdel-Jaber, Rawan Al-Shamayleh, Reem Ibrahim, Nawal Louzi and Tariq AlKhrissat, conducted similar studies. They used ASTM D1075, Standard Test Method for Effect of Water on Compressive Strength of Compacted Bituminous Mixtures.

Researchers Peter Mikhailenko, Zhengyin Piao and Lily D. Poulikakos from Yale University conducted mechanical tests to determine the elastic modulus of three materials at 10°C. Poulikakos from Yale University conducted mechanical tests to determine the modulus of elasticity of three materials at 10°C. The experiment was performed according to Technische Prüfvorschriften für Asphalt: Einaxialer Druckschwellversuch - Bestimmung des Verformungsverhaltens von Walzasphalt bei Wärme, 2010. In addition, their study conducted a chemical analysis to assess the environmental impact. For this they referred to the Swiss standards SN 640-430c Walzasphalt: Konzeption, Ausführung und Anforderungen an die eingebauten Schichten, 2014 and SNR 640 436 Semidichtes Mischgut und Deckschichten Festlegungen, Anforderungen, Konzeption und Ausführung, 2015.

Thus, various research methods are used to characterise steel slag asphalt concrete, including physical and mechanical testing, chemical analysis and other methods.

Results and Discussion

In order to meet the needs of the road sector during the repair, construction and operation of the roadbed of motorways, it is necessary to reduce the cost of construction materials at this stage of work of a part of the construction industry. It is also desirable to improve technical and operational qualities of developed materials, as well as to reduce logistic and time costs. These requirements are met by slags - a by-product or secondary product of metallurgy, which includes both ferrous and non-ferrous metals (combustion products). Their use occurs throughout the construction process of the road component, including the creation of mineral aggregates, asphalt concrete, structural road concrete and, in some cases, even thermal insulation. It is therefore important to consider the use of heavy industrial waste and select the best recycled materials to improve the performance and durability of the road surface.

For road construction it is possible to use crushed stone of blast-furnace and steelmaking slags and aggregate slag materials of blast furnaces, slag and slag-pumice sands, domed and blast-furnace granulated slags, slag production waste.

Kazakhstan has accumulated over 30 billion tonnes of slag waste. The main amount of waste in the country today has been created by the mining and metallurgical industries - almost 20 billion tonnes, and from the ores in non-ferrous metallurgy are mainly extracted from the force of two to three percent of useful elements, and the remaining 97-98 percent go to the dump. These are so-called technogenic-mineral formations, which, being unnecessary after primary processing, remain in open pits.

As a solid industrial waste, steel slag has similar physical and mechanical properties to natural stone and has great potential to replace natural aggregate, [1-2]. However, the source, mechanical properties and expandability of steel slag directly affect its widespread use in asphalt pavement. Steel slag is usually used as a coarse aggregate in asphalt pavement mixes, and it is not recommended to be replaced by fine aggregate or filler in a project. This is because steel slag has high hardness and poor grindability, and replacing steel slag with fine aggregate or filler will further increase asphalt consumption and risk reducing volume stability [3].

Nowadays in Kazakhstan there is an obvious need to save material resources of the country, to develop and master waste-free innovative technologies. In the nearby territories of Arcelor Mittal Temirtau JSC, \$200 million was allocated. more than a tonne of waste was collected, which negatively affects the environmental situation not only in the city of Temirtau, but also outside the Karaganda region. In our country, the main part of blast furnace slag melt is granulated. As for steelmaking slag, the main part of it is poured into a mound, and only a small part of it is processed into crushed stone, fertiliser, slag.

The productivity of ArcelorMittal Temirtau JSC's metallurgical production is constantly growing, and the amount of slag produced is increasing accordingly. It is planned to increase slag output up to 900 thousand tonnes per year (blast furnace slag - up to 600 thousand tonnes per year, BOF slag - up to 300 thousand tonnes per year).

In 2020, ArcelorMittal Temirtau's slag pumice was processed into fractional crushed stone, producing about 210 thousand tonnes of slag sand. The volume weight of asphalt concrete pavement compacted on the basis of slag-pumice sand is 2.2 tonnes/m³. At 9% of bitumen and using the entire output of slag-pumice sand for road purposes, it is possible to obtain 291 thousand tonnes of asphalt-concrete mixture sufficient to install 170 km of roadbed with a thickness of 9 cm.

Researchers Zhao, Zenggang, Zipeng Wang, Shaopeng Wu, Jun Xie, Chao Yang, Na Li and Peide Cui from Wuhan University of Technology, Tongji University and Southeast University in Nanjing, China, conducted a joint experiment comparing the performance of steel slag asphalt concrete and basalt asphalt concrete. [5]

Marshall stability test, indirect tensile test, dynamic stability test and beam bending test were conducted to evaluate the moisture susceptibility, high temperature performance and low temperature performance of the asphalt mixture in accordance with standard test methods for bitumen and bituminous mixtures for highway construction.

The test results showed that steel slag asphalt mix has higher Marshall moisture resistance than basalt mix. The stability of steel slag asphalt mix is 13.9 kN, while the basalt mix reaches 11.8 kN. In addition, the steel slag asphalt mix exhibits a tensile strength coefficient of 92.6% or higher, while the basalt mix achieves a value of 88.2%. Both values exceed the minimum requirements set by China Standard 2011, which are at least 80%. Thus, it can be concluded that steel slag asphalt mix has higher tensile strength compared to basalt asphalt mix.

In addition, a flexural tensile test was conducted. The results showed that steel slag asphalt mix has higher flexural tensile strength, better deformation and higher stiffness compared to basalt asphalt mix. Nowadays, flexural tensile strain is often used to evaluate the performance of

asphalt at low temperatures. The greater the maximum flexural tensile strain, the better the low temperature deformation resistance of the asphalt mix and the more pronounced its resistance to cracking.

The flexural tensile strain values for steel slag asphalt mix and basalt asphalt mix are 3247.1 $\mu\epsilon$ and 3103.4 $\mu\epsilon$, respectively, exceeding the specification requirement of 2800 $\mu\epsilon$. Thus, the low temperature performance of the asphalt mix using steel slag as coarse aggregate is found to be better than that of the mix using basalt. This is due to the excellent adhesion between steel slag and asphalt as well as the good bonding effect between steel slag aggregates, table 1.

Table 1. The results of trabecular bending test

Types	Ultimate flexural tensile strength (MPa)	Ultimate flexural Tensile strain ($\mu\epsilon$)	Stiffness modulus (MPa)
Steel slag asphalt mixture (ARHM-13)	10.726	3247.1	3303.3
Basalt asphalt mixture (ARHM-13)	10.148	3103.4	3270.0

This can be attributed to factors such as the high angularity index, the presence of many pores in the structure and the chemical composition of the steel slag aggregate. Due to these features, steel slag provides better adhesion to asphalt compared to basalt. However, it is worth noting that steel slag asphalt mix also has a higher susceptibility to moisture compared to basalt asphalt mix.[5].

All products of slag processing are economical. For example, slag gravel is 1.5-2 times cheaper than natural gravel and requires 4.5 times less investment in equity capital; slag pumice is 3 times cheaper than expanded clay and 1.5 times less investment in equity capital [5] and the use of 1 tonne of granulated slag in the cement industry increases cement output by 1 tonne, which costs 9 times less and requires 9 times less investment in equity capital.

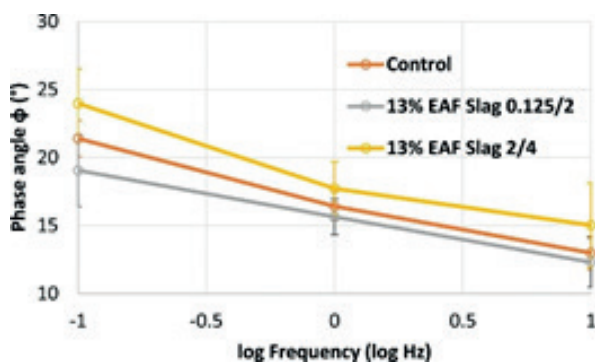
The University of Jordan conducted an interesting experiment in which researchers Naser, Mohammad, Mu'tasim Abdel-Jaber, Rawan Al-Shamayleh, Reem Ibrahim, Nawal Louzi and Tariq AlKhrissat participated. In this experiment, they conducted a number of studies in order to investigate certain aspects. This paper discusses the results of an experimental study conducted to evaluate the performance of recycled asphalt concrete mixtures made using reclaimed aggregate for asphalt pavements (RAP). These mixtures were also prepared using two aggregate additives, namely steel slag (SS) and silica fume (SF), in four different percentages by weight of aggregate. [6]

The Marshall stability and flowability tests were carried out in two stages. In the first stage, mixtures containing RAP materials with different asphalt contents were prepared to determine their optimum asphalt content (OAC); therefore, in the second stage, new RAP mixtures with appropriate OAC at different additive percentages were prepared and tested. The tests conducted in the first phase confirmed the effectiveness of RAP agglomerates as a replacement for natural aggregate in hot mix asphalt mixtures. The overall results showed that mixtures with RAP had more stable characteristics than those with limestone. The maximum stability values were achieved for mixtures containing 75% and 100% RAP when asphalt binder was added at a rate of 2%. This indicates that the use of RAP agglomerates can reduce the need for asphalt.

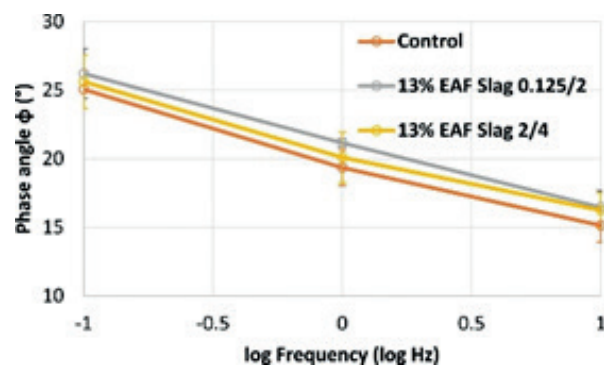
As shown in the test results, the addition of steel slag to RAP mixtures resulted in improved mechanical and volumetric properties of the asphalt mixtures due to the density of the steel slag. Marshall stability improved significantly for mixtures containing 50% and 75% RAP when 75% and 50% fine steel slag was added, respectively. The highest recorded load for stability was 32.73 kN for mixtures containing 75% RAP and 50% steel slag when 2% asphalt binder was added.[6]

Researchers Peter Mikhailenko, Zhengyin Piao, Lily D. Poulikakos from Yale University and the Swiss Graduate School of Technology in Zurich conducted an experiment investigating the possibility of using electric arc furnace slag as an aggregate in semi-dense asphalt, [7].

Several experiments were conducted as part of the study, including the determination of the Modulus of Stiffness. The results indicated that the control mixture had higher stiffness compared to the electric arc furnace slag mixtures. Although electric arc furnace slag was found to increase the stiffness, the discrepancy here may be due to the influence of the additional additive. In absolute terms, the elastic modulus values obtained for the three materials tested at 10°C and 10 Hz, which are typical test parameters, were 9952, 7960, 7479 MPa, Figer 1, 2. These values are slightly lower than the elastic modulus values obtained for a similar mixture in the previous study, which were 10,231 MPa.



Figur 1. Phase angle (°) from stiffness modulus tests at 5 °C.



Figur 2. Phase angle (°) from stiffness modulus tests at 10 °C.

An experiment was also conducted to determine the environmental impact. The study showed that modified semi-dense asphalt containing electric arc furnace slag reduced greenhouse gas emissions and environmental negative contribution by 40% and 90%, respectively, compared to conventional semi-dense asphalt. The main factor behind these results is the avoidance of burial of electric arc furnace slag. However, the use of this material does not improve the non-renewable energy input potential.

Conclusions

The review article on slag concrete for highways provided important information on the use of slag as a sustainable substitute in road construction, so in conclusion. According to the findings of the article, the addition of slag to asphalt concrete can have a number of positive effects on performance, economic efficiency and environmental sustainability.

Firstly, the addition of slag to asphalt concrete improves the mechanical properties of the mix, such as its resistance to rutting, stiffness and fatigue. These improvements are attributed to the angular shape, high hardness and bonding properties of slag, which contribute to the bearing capacity and durability of road surfaces.

Secondly, the use of slag in road construction helps to preserve the environment. The article emphasizes the reduction of resource consumption and dependence on quarries by replacing some of the traditional aggregates with slag. The use of slag also reduces industrial waste and helps in recycling and reusing industrial by-products. This strategy encourages a circular economy and is in line with sustainable development goals.

In addition, there are obviously financial advantages to adding slag to asphalt concrete. Slag is often readily available as a by-product of various industries, such as steel production, and its use can lead to cost savings in road construction. Reduced reliance on virgin aggregates can reduce material costs, and the improved performance and durability of slag concrete for highways can lead to longer service life and reduced maintenance requirements, resulting in significant cost savings over time.

Overall, the findings of this review article emphasize the potential of slag concrete as a sustainable and cost-effective solution in road construction. Slag utilization provides increased productivity, environmental and economic benefits. Further research and field studies are needed to address the remaining challenges and to ensure the successful implementation of slag-based asphalt concrete in practice.

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR18574214).

References

1. Shu, Kaiqian, and Keiko Sasaki. "Occurrence of Steel Converter Slag and Its High Value- Added Conversion for Environmental Restoration in China: A Review." *Journal of Cleaner Production* 373 (1 November 2022): 133876. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2022.133876>.
2. O'Connor, James, Thi Bang Tuyen Nguyen, Tom Honeyands, Brian Monaghan, Damien O'Dea, Jörg Rinklebe, Ajayan Vinu, et al. "Production, Characterisation, Utilisation, and Beneficial Soil Application of Steel Slag: A Review." *Journal of Hazardous Materials* 419 (5 Oct. 2021): 126478. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2021.126478>.
3. J. Li, J. Yu, S. Wu, J.J.M. Xie, Mech. Resist. Asph. Mixed Steel slag Deform. Ski. Degrad. Based Lab. Accel. Heavy Load. Test. 15 (3) (2022) 911.
4. Y. Gan, C. Li, W. Ke, Q. Ke, T. Yu, "Study on Pavement Performance of Steel Slag Asphalt Mixture Based on Surface Treatment". Deng, T. Yu, "Study on Pavement Performance of Steel Slag Asphalt Mixture Based on Surface Treatment"., *Case Stud. Constr. Mater.* 16 (2022), e01131. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2022.e01131>
5. Zhao, Zenggang, Zipeng Wang, Shaopeng Wu, Jun Xie, Chao Yang, Na Li, and Peide Cui. "Road performance, VOCs emission and economic benefit evaluation of asphalt mixture by incorporating steel slag and SBS/CR composite modified asphalt". *Case Studies in Construction Materials* 18 (July 2023): e01929. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e01929>.
6. Naser, Mohammad, Mu'tasim Abdel-Jaber, Rawan Al-Shamayleh, Reem Ibrahim, Nawal Louzi, and Tariq AlKhrissat. "Improving the Mechanical Properties of Recycled Asphalt Pavement Mixtures Using Steel Slag and Silica Fume as a Filler". *Buildings* 13, vol. 1 (4 January 2023): 132. <https://doi.org/10.3390/buildings13010132>
7. Mikhailenko, Peter, Zhengyin Piao, and Lily D. Poulikakos. "Electric Arc Furnace Slag as Aggregates in Semi-Dense Asphalt." *Case Studies in Construction Materials* 18 (July 2023): e02049. <https://doi.org/10.1016/j.cscm.2023.e02049>.

Шлаковый дорожный асфальтобетон

А.Е. Джексембаева¹, И. Закарин², М.Д. Конканов³, Л.Б. Аруова⁴

¹²³⁴Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева,
010008 Астана, Республика Казахстан, ул. Кажимукана 13, к205

E-mail: ecoeducation@mail.ru

Абстракт. Асфальтовые и бетонные дорожные покрытия являются неотъемлемой частью инфраструктуры транспортных систем, а в последние годы шлаковый дорожный асфальт приобрел популярность как эффективная и экологически чистая альтернатива. Предметом данной обзорной статьи является шлаковый асфальт, полученный путем включения шлака, побочного продукта

промышленного производства стали в асфальтобетонные смеси. В статье представлен обзор последних научных работ по использованию шлакового дорожного асфальта. В данной статье рассмотрены состав, технологические и физико-механические характеристики шлакоасфальтобетона. Особое внимание уделяется исследованиям влияния шлака на прочность, сопротивление разрушению и деформацию материала. Авторы представляют обзор различных методов модификации шлакового асфальта для улучшения его характеристик и долговечности дорожных покрытий. В статье также подчеркивается экологическое значение шлакового асфальтобетона. Общий анализ этих статей свидетельствует о возможности использования шлакового дорожного асфальтобетона в качестве эффективного и экологически устойчивого материала в дорожном строительстве. Однако необходимы дальнейшие исследования и практические испытания для подтверждения его применимости в различных климатических и дорожных условиях. В заключительной части статьи рассматривается значение шлакоасфальтобетона в контексте устойчивого дорожного строительства. Подчеркивается потенциал шлакового асфальта для экономии затрат при строительстве и содержании дорожной инфраструктуры, а также для повышения ее долговечности и устойчивости. В заключение в статье дается обобщенный обзор шлакоасфальтобетона, его преимуществ и перспектив применения в дорожном строительстве.

Ключевые слова: асфальтобетон, стальной шлак, микрокремнезем, дорожные покрытия

Шлак жол асфальтыбетон

А.Е. Джексембаева¹, И. Закарин², М.Д. Конканов³, Л.Б. Аруова⁴

¹²³⁴ Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті,
010008 Астана, Қазақстан, көш. Қажымұқан 13, к205
e-mail: ecoeducation@mail.ru

Аңдатпа. Асфальтты және бетонды жабындар көлік жүйелері инфрақұрылымының құрамдас бөлігі болып табылады және соңғы жылдары шлак жол асфальты тиімді және экологиялық таза балама ретінде танымал болды. Осы шолу мақаласының тақырыбы – асфальт қоспаларына өнеркәсіптік болат өндірісінің жанама өнімі болып табылатын қожды қосу арқылы алынған шлак асфальты. Мақалада шлак жол асфальтын пайдалану бойынша соңғы ғылыми жұмыстарға шолу берілген. Бұл мақалада қож асфальтбетонының құрамы, технологиялық және физикалық-механикалық сипаттамалары қарастырылады. Шлактың материалдың беріктігіне, сынуға төзімділігіне және деформациясына әсерін зерттеуге ерекше назар аударылады. Авторлар оның өнімділігі мен жабынның беріктігін жақсарту үшін қож асфальтты түрлендірудің әртүрлі әдістеріне шолу жасайды. Сондай-ақ мақалада қож асфальтбетонының экологиялық маңызы ерекше атап өтілген. Осы мақалалардың жалпы талдауы жол құрылысында тиімді және экологиялық тұрақты материал ретінде қож жол асфальтбетонын пайдалану мүмкіндігін көрсетеді. Дегенмен, оның әртүрлі климаттық және жол жағдайларында қолданылуын растау үшін қосымша зерттеулер мен тәжірибелік сынақтар қажет. Мақаланың қорытынды бөлімінде тұрақты жол құрылысы контекстінде қож асфальтбетонының маңыздылығы қарастырылады. Қож асфальттың жол инфрақұрылымын салу және күтіп ұстау шығындарын үнемдеу, сондай-ақ оның беріктігі мен тұрақтылығын арттыру мүмкіндігіне баса назар аударылады. Қорытындылай келе, мақалада қож асфальтбетонға жалпы шолу, оның артықшылықтары мен жол құрылысында пайдалану перспективалары берілген.

Түйін сөздер: асфальтбетон, болат шлактары, кремний газы, жол төсемдері

Сведения об авторах:

Рус.:

Закарин И. – магистрант ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана 13, к205

Джексембаева А.Е. – доктор РНД ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана 13, к205

Конканов М.Д. – доктор РНД ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана 13, к205

Аруова Л.Б. – доктор технических наук, профессор кафедры “Технология промышленного и гражданского строительства” ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана 13, к205

Қаз.:

Закарин И. – Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ магистранты, Қажымұқан көшесі 13, 205 ауд.

Джексембаева А.Е. – Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ PHD докторы, Қажымұқан көшесі 13, 205 ауд.

Қонқанов М.Д. – доктор Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Қажымұқан көшесі 13, 205 ауд.

Аруова Л.Б. – т.ғ.д., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ «Өндірістік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасының профессоры, Қажымұқан көшесі 13, 205 ауд.

Англ.:

Zakarin I. – undergraduate of ENU named after L.N. Gumilyov, Kazhimukan street 13, room 205

Dzheksembayeva A.E. – Doctor of PHD ENU named after L.N. Gumilyov, Kazhimukan str. 13, room 205

Konkanov M.D. – Doctor PHD ENU named after L.N. Gumilyov, Kazhimukan str. 13, room 205

Aruova L.B. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department “Technology of Industrial and Civil Engineering” L.N. Gumilev ENU, Kazhimukan St. 13, room 205

Т.Т. Мусабаев¹, Н.Ж. Жумадилова^{2*}, А.Т. Мухамеджанова¹,
С.К. Мусина³

¹Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Кагарандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
Караганда, Казахстан

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
E-mail: n-j-93@mail.ru

Методика прогнозирования осадок подтопляемых фундаментов электропечей Аксуского завода ферросплавов

Аннотация. Авторами предложена новая методика прогнозирования осадков подтопляемых фундаментов после их возведения. Разработанная методика позволяет определить требуемую мощность не замоченного грунта в несущем слое основания, а также выбрать оптимальную глубину водопонижения. Данная методика прогнозирования предоставляет возможность вносить изменения в значения компрессионного модуля деформации грунта и переводных коэффициентов для получения более точных значений штампового модуля.

Основная тематика исследования связана с комплексным анализом оснований и фундаментов электропечей № 61 и 63 в плавильном цехе Аксуского завода ферросплавов. В ходе работы были проведены инженерно-геологические и гидрогеологические изыскания, геофизические исследования, а также анализ технического состояния уже существующих фундаментов. На комплексных научно-технических исследованиях разработана новая расчетная модель, которая позволяет предсказать осадки зданий, учитывая многолетнее водонасыщение грунтов в основании. Кроме того, проведена оценка надежности существующих фундаментов электропечей № 61 и 63 и возможности их последующей реконструкции в контексте предстоящей реновации.

Таким образом, данное исследование и разработанная новая методика анализа осадок подтопляемых фундаментов и оценки их надежности вносит важный вклад в геотехническое проектирование. Результаты данной работы могут быть применены для оптимизации проектирования и реновации зданий и сооружений на основе более точного учета воздействия грунтовых вод на основания.

Ключевые слова: водонасыщенные грунты, неводонасыщенные грунты, подтопление, водопонижение, фундамент, прогнозирование осадки, компрессионные испытания.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-143-153

1. Введение

Современное геотехническое проектирование зданий и сооружений требует всестороннего и точного подхода к расчету осадок, особенно в условиях подтопляемых грунтовых оснований. Этот этап проектирования оказывает важное влияние на надежность

и долговечность строительных конструкций, включая фундаменты, что приобретает особенную актуальность в условиях ухудшения экологической обстановки.

Геотехническое проектирование основания включает в себя корректировку размера и глубины основания до тех пор, пока оно не будет соответствовать как несущей способности, так и критериям осадки. Среди этих двух критериев критерий осадки обычно определяет проектирование неводонасыщенных оснований. Как теория несущей способности, так и теория анализа осадок, используемые на практике, основаны на предположении, что грунт либо сухой, либо полностью водонасыщенный. Таким образом, водонасыщенность поверхностного слоя почвы в зоне влияния неводонасыщенного грунта значительно меняется из-за гидрологических явлений (сильных осадков и/или наводнений).

В последние годы многими исследователями для геотехнического проектирования предложено методы расчета несущей способности и осадки, основанные на принципах механики неводонасыщенных грунтов [1, 2]. Также предложен новый метод, который учитывает исторические данные об осадках и уровне грунтовых вод на конкретном участке при проектировании на неводонасыщенных грунтах. Данное исследование показало, что отдельное мероприятие водопонижения увеличило предельную несущую способность основания почти на 230% от несущей способности по сравнению с состоянием полного водонасыщения. Кроме того, упругая осадка различных оснований была снижена примерно до 87% и 40% от осадки, учитывая условия полной водонасыщенности [3]. В результате этих исследований был сделан вывод о том, что анализ несущей способности и осадок возможно улучшить, а стоимость строительства – снизить при проектировании неводонасыщенного основания при условии учета гидрологических параметров конкретного участка и использования механики неводонасыщенных грунтов [4, 5].

Для точного расчета осадок и обеспечения безопасности строений как в процессе строительства, так и для уже существующих сооружений, очень важно иметь точные данные размеров местных участков водонасыщенного грунта в активной зоне фундамента и области неоднородных участков основания. Эти данные необходимы для определения способности грунта выдерживать нагрузки и для принятия соответствующих мер для устранения проблем, связанных с деформацией грунта [6, 11]. Сложные геотехнические задачи могут ограничивать применение существующих методов теории линейно-деформируемых тел [7]. Данная теория предполагает, что грунт ведет себя как идеализированное изотропное твердое тело, что в реальности не всегда адекватно описывает фактическое состояние грунта. Это ограничение может привести к значительным погрешностям, допускаемым при расчете осадок практически во всех случаях.

Исследования, проведенные Утеновым Е.С. и его коллегами, показывают перспективу применения теории линейно-деформируемых тел для расчета напряжений в реальных грунтах. В работах отечественных ученых представлен метод расчета осадок фундаментов надстраиваемых зданий с использованием безмодульного подхода [8, 9]. В других работах [10, 11] рассмотрен вопрос использования модуля деформации грунта при геотехническом проектировании. Исследования показали, что несмотря на ограничения теории линейно-деформируемых тел, ее применение при расчете напряжений в реальных грунтах дает удовлетворительные результаты с точностью около 20%. Это подтверждает перспективность использования данного метода при решении сложных геотехнических задач при градостроительном планировании [12].

2. Методы

Аккусский завод ферросплавов расположен на левом берегу реки Иртыш территории Павлодарской области, на расстоянии 20 километров на юго-запад от города Павлодар и 2,5 километра на север от города Аксу. В структуре промышленной инфраструктуры города имеются два ведущих предприятия: Аккусский завод ферросплавов и электрическая станция АО «ЕЭК». Завод связан с другими городами, такими как Астана, Павлодар, Экибастуз и Семипалатинск через асфальтированные и железнодорожные пути.

Аксуский завод ферросплавов является ключевым предприятием в области черной металлургии, специализирующимся на производстве высокоуглеродистых феррохромовых, марганцевых и кремнистых сплавов. Особый акцент сделан на плавильный корпус цеха №6, где осуществляется производство высокоуглеродистого феррохрома. Завод представляет собой двухпролетное промышленное здание сложной формы в плане, обладающее габаритными размерами «1-24, А-Б» в размере 276 на 24 метра и «1-20, Б-В» в размере 228 на 24 метра. Важно отметить также присутствие деформационного шва в осях «21, А-Б». К зданию плавильного корпуса примыкают газоочистные сооружения в осях «1-4, А». Жесткость данной конструкции обеспечивается взаимодействием фундаментов, элементов металлического каркаса, вертикальных и горизонтальных связей жесткости, а также плит покрытия и перекрытия.

Проведенные инженерно-геологические исследования выявили, что несущим основанием под фундаменты электропечей №61 и №63 являются глины. Толщина этих глин варьирует от 3,2 метра до 26,7 метров с приблизительным давлением набухания 3,0 кгс/см² при относительном набухании 0,005. Толщина неогеновых глин аральской свиты, вскрытая в ходе исследований, классифицируется как сильно набухающая, и согласно СП РК 1.02-102-2014, участок изысканий относится к III категории сложности инженерно-геологических условий.

По полевому описанию глины зеленовато-серые, светло-серые, темно серые с включением гипса, плотные, обладающий следующими характеристиками: $\gamma = 18,1$ кН/м³, $\gamma_s = 25,2$ кН/м³; $\gamma_d = 13,9$ кН/м³; $\varphi_{II} = 70$; $c_{II} = 10,8$ кПа; $E_0 = 10$ МПа; $S_r = 0,95$; $e = 0,816$. Подробное описание перечисленных параметров приведено в таблице 1.

Таблица 1. Описание параметров характеристики грунта

Обозначение параметра	Наименование параметра	Описание параметра
γ	Удельный вес грунта	Вес единицы объема грунта в его естественном состоянии
γ_s	Удельный вес твердых частиц	Мера массы твердых частиц грунта на единицу их объема
γ_d	Удельный вес сухого грунта	Мера массы сухой части грунта на единицу его объема
φ_{II}	Угол внутреннего трения	Мера сопротивления грунта к сдвиговым напряжениям
c_{II}	Удельное сцепление грунта	Мера сопротивления межчастичного скольжения в грунте
E_0	Модуль упругости	Соотношение между сжимающим напряжением грунта и относительной обратимой деформацией, которую оно вызывает
S_r	Степень водонасыщения	Отношение объема воды в грунте к его полному объему
e	Коэффициент пористости	Отношение объема порового пространства в грунте к его общему объему

Фундамент Фо-37 электропечи РКЗ-63-И1 №61 выполнен из монолитного железобетона и имеет форму диска с диаметром 12.00 м. Его глубина заложения составляет 3.0 м от уровня чистого пола первого этажа плавильного цеха №6. Следующий фундамент Фо-1 электропечи РКЗ-63-И1 №63. Он также выполнен в форме диска, но имеет диаметр 14.26 м с прямоугольными выступами. Глубина заложения этого фундамента составляет -2.30 м от уровня чистого пола первого этажа плавильного цеха №6.

Анализ инженерно-геологических выработок и результатов лабораторных испытаний грунтов позволил определить геологическое строение участка на глубину 8,0-30,0 м. От верхнего слоя к нижнему присутствуют следующие образования: сначала четвертичные отложения, представленные песками крупными и песками гравелистыми, затем неогеновые глины павлодарской свиты. Эти образования покрываются слоем насыпных грунтов.

Для проведения контрольных расчетов осадок грунтов основания фундаментов были использованы требования действующих строительных норм, в частности СП РК 5.01-102-2013 Основания зданий и сооружений.

Расчет осадок существующего фундаментов печей №61 и №63 Аксуцкого завода ферросплавов с учетом подтопления грунтов основания в эксплуатационный период безмодульным методом

Проектирование и прогнозирование осадки фундамента при подтоплении предварительно уплотненных грунтов основания является сложной задачей в геотехнической практике. Подтопление предварительно уплотненных грунтов фундамента может привести к возникновению дополнительных осадок, которые необходимо учитывать при проектировании. Эти осадки могут быть вызваны изменением гидрологических условий а также повышением уровня грунтовых вод в окружающей области. Для прогнозирования осадки фундамента при подтоплении предварительно уплотненных грунтов используются различные методы и модели. Важно проводить детальное исследование геотехнических свойств грунтов и прогнозировать их поведение под воздействием влаги. Для решения этой задачи мы можем использовать определенные допущения, которые помогут приблизительно оценить данное явление. Согласно этим допущениям предполагаем, что «вызванные длительным воздействием нагрузок осадки основания имеют стабильный характер с неоднородно уплотняемыми грунтами в пределах сжимаемой зоны в соответствии с их напряженным состоянием. Поэтому дополнительная осадка существующего фундамента в процессе подтопления его основания происходит по аналогии с явлением просадки, вызванной ослаблением структуры грунтов в процессе их замачивания».

Для определения осадки безмодульным методом используется следующая формула:

$$S = \frac{1}{A_{\phi}} \cdot \sum_{i=1}^{i=n} \left[V_{iz} \cdot \left(1 - \frac{1+e_2^{iz}}{1+e_1} \right) \right], \quad (1)$$

где i и n – номер и количество выделенных уплотняемых зон основания; A_{ϕ} – площадь подошвы фундамента; V_{iz} – объем i – ой уплотняемой зоны основания; e_1 – коэффициент пористости грунта природного сложения; e_2^{iz} – коэффициент пористости грунта, уплотненного под действием сжимающего напряжения $\Delta\sigma_1^{i3}$, возникающего в i – ой зоне от внешней нагрузки.

Для расчета осадок фундаментов с разными формами подошвы, такими как круг, квадрат и прямоугольник, применяется безмодульный метод. Этот метод позволяет учесть особенности грунта и геометрии фундамента при расчете осадок, не требуя информации о модуле упругости грунта.

В случае, если основание фундамента подвергается подтоплению до начала строительства, можно упростить расчет ожидаемой осадки для проектируемого фундамента, исходя из заданных условий (см. рисунок 1а):

$$S = (S_n + S_{sat.new}) \leq S_u, \quad (2)$$

где S_n – находящаяся выше уровня грунтового водного зеркала (УГВ) и состоящая из грунтов естественной влажности и плотности осадка не замоченной части активной зоны основания; $S_{sat.new}$ – находящаяся ниже уровня грунтового водного зеркала (УГВ) и включающаяся подверженные подтоплению водонасыщенные грунты естественного состояния осадка ослабленной части активной зоны основания; S_u – нормативная предельно допустимая величина осадки фундамента [1, 2, 3]. Осадки S_n и $S_{sat.new}$ находятся формулой безмодульного метода расчета осадок [9, 10] путем учета измененных значений коэффициента пористости грунта e по компрессионным кривым 1 и 2 (рис. 2), отражающим законы сжатия грунта в различных физических и напряженных состояниях в пределах соответствующих зон I, II, III активной области основания (рис. 1б).

Рассмотрим алгоритм расчета осадок проектируемого фундамента включает учет различных положений уровня грунтовых вод относительно глубины сжимаемой зоны фундамента H_a (рис. 1).

Положение 1 (WL_0) соответствует нахождению УГВ на глубине $\bar{z} = \bar{z}_1$ относительно отметки подошвы фундамента; при этом величина поднятия уровня грунтовых вод равно нулю $h_{GW0} = 0$, а уровень грунтовых вод достигает нижней границы сжимаемой зоны основания. В данном случае основание является незатопленным и состоит из грунта с естественной влажностью и осадку фундамента следует определять исходя из этого. Для этого используется компрессионная кривая 1, которая позволяет оценить степень сжатия грунта и соответствующую осадку фундамента. При расчете следует учесть величину нагрузки на фундамент и характеристики грунта (рис. 2).

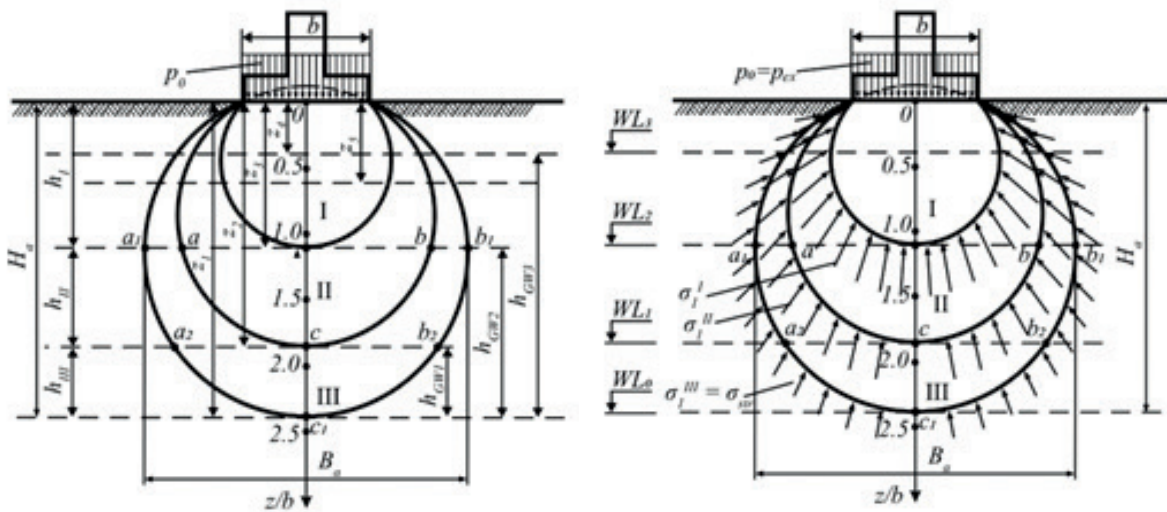
Положение 2 (WL_1) при $\bar{z} = \bar{z}_2$ соответствует случаю, если основание частично подтоплено, то уровень грунтовых вод будет подниматься и достигнет значения, равного разнице между поднятием УГВ и нижней границей сжимаемой зоны основания. Это означает, что вода проникает в глубину, где происходит сжатие грунтов, и создается определенное давление на основание. Величина поднятия УГВ является важным фактором при проектировании и оценке стабильности основания:

$$h_{GW1} = [H_a - (h_I + h_{II})], \quad (3)$$

где H_a – фактическая глубина сжимаемой зоны основания; h_I и h_{II} – мощности зон I и II по оси $0 \bar{z}/b$. В этом положении УГВ подтоплению подвергается только слой грунта в самой мало загруженной зоне III основания как видно из рис. 1а. Поэтому с учетом уменьшенного значения коэффициента пористости e по кривой 2 (рис. 2) в соответствии с напряженным состоянием грунта в зоне III (при $\Delta\sigma_1^{III}$) для определения $S_{sat.new}$ в расчет вводится величина изменения (уменьшения) объема сжимаемой зоны основания в его участке $a_2c_1b_2$

Когда обводнению подвержена значительная часть сжимаемой области основания, состоящая из нескольких зон (III и II), отличающихся напряженным состоянием, положение 3 (WL_2) при $\bar{z} = \bar{z}_3$ показывает более общий случай подтопления. В этом случае следует учитывать изменения объемов зон III и II в участках основания $a_1aca_2, bb_1b_2c, a_2c_1b_2$ и abc путем введения в расчет измененных значений коэффициента пористости e по кривой 2 (рис. 2) в соответствии с напряженным состоянием грунта в зонах III и II (при $\Delta\sigma_1^{III}$ и $\Delta\sigma_1^{II}$) для определения $S_{sat.new}$.

Изменение уровня грунтовых вод может иметь значительное влияние на осадку фундамента, поскольку наиболее нагруженные участки основания часто подвергаются подтоплению. Вода проникает в эти участки и может вызвать изменение свойств грунта, что может привести к дополнительным оседаниям фундамента. Поэтому при рассмотрении влияния УГВ на осадку фундамента необходимо учитывать особенности подтопления и распределение нагрузки на основание, Положение 4 (WL_{03}) характеризуется значением $\bar{z} = \bar{z}_4$. Необходимо учитывать изменения объемов грунтов зон I, II и III в пределах водонасыщенного слоя h_{GW3} для определения осадки $S_{sat.new}$ ослабленной части основания, подверженной обводнению.



а) для случая 1 - Подтопление основания возводимого фундамента

б) для случая 2 – Подтопление основания существующего фундамента

Рисунок 1. Расчетные схемы

3. Результаты и обсуждение

Получены соответствующие значения снижения коэффициента пористости грунта $\Delta e_{sl}^I = 0,024$; $\Delta e_{sl}^{II} = 0,018$; $\Delta e_{sl}^{III} = 0,012$ в результате моделирования поведения существующего фундамента при подтоплении его основания путем проведения трех параллельных компрессионных опытов уплотненными образцами грунта, подвергнутыми уплотнению под нагрузками $\Delta \sigma_1^I$, $\Delta \sigma_1^{II}$ и $\Delta \sigma_1^{III}$ и подвергнутыми замачиванию под этими же нагрузками (рис. 2).

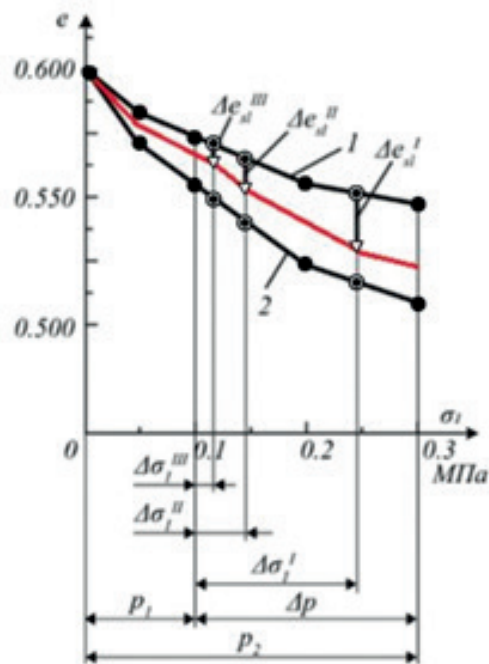


Рисунок 2. Компрессионные кривые грунта основания фундамента: 1 и 2 – опытные кривые сжатия грунта с естественной влажностью и в водонасыщенном состоянии; ● – опытные точки; ○ – точки на опытных кривых, используемые при расчете осадок по безмодульному методу; ▽ – предполагаемые опытные точки, получаемые в результате замачивания длительно уплотненных грунтов основания существующего фундамента.

Дополнительные осадки фундамента существующего здания, учитывая уровень плотности грунта и последующее подтопление, проявились значительным образом: для положения 2 (WL_1) $S_{sat.new} = 1,40$ см; для положения 3 (WL_2) $S_{sat.new} = 4,6$ см; для положения 4 (WL_3) $S_{sat.new} = 7,5$ см.

Предложенный метод прогнозирования развития дополнительных осадок при подтоплении оснований существующих зданий является более точным и надежным по сравнению с рекомендациями строительных норм. Этот метод позволяет определить допустимую величину повышения уровня грунтовых вод и выбрать оптимальную глубину водопонижения.

Данная методика отличается от стандартных рекомендаций тем, что она учитывает более реалистичные условия и изменения в свойствах грунтов в процессе подтопления. Благодаря использованию безмодульного подхода и учету коэффициента пористости грунта в различных состояниях, данная методика позволяет получить более точные результаты при прогнозировании дополнительных осадок. Таким образом, она способствует более точному определению допустимых параметров водопонижения и глубины подтопления, что может оказать существенное влияние на безопасность и надежность фундаментов существующих зданий.

4. Выводы

Исследования инженерно-геологических характеристик на местности позволяют утверждать, что на площадке наблюдается неоднородное повышение уровня грунтовых вод. Это свидетельствует о долговременном воздействии влаги на грунты основания, включая набухающую глину, что, в свою очередь, часто является источником деформаций фундамента и, как следствие, ухудшает его надежность и стабильность в процессе

эксплуатации. Дополнительно, годичное периодическое подтопление площади (от минимальной отметки 127,30 до максимальной 128,00) приводит к существенным изменениям характеристик сжимаемости (модуля деформации E_0) и прочности (c, φ) грунтов в различных слоях основания. Эти изменения обычно связаны с значительным снижением данных параметров, часто в два и более раза. Важно отметить, что эти изменения имеют неоднородный характер как в пределах площади фундамента, так и вдоль его глубины.

В данном случае, наличие сложных геологических условий, особенно при ограниченной дренируемости грунтов, может создать неблагоприятные условия для надежности фундаментов. В таких ситуациях разрыв между процессом фильтрации влаги и процессом уплотнения грунта (сужение пор) может создать избыточное давление в поровой воде, что в итоге может привести к нестабильному состоянию фундамента или к существенным пластическим деформациям грунтов.

Циклический характер подтопления грунтов основания имеет неблагоприятное воздействие на развитие осадок фундамента; это приводит к неравномерности развития осадок, как показывают результаты анализа:

при использовании метода послойного суммирования для фундаментов электропечей, осадка увеличивается под воздействием грунтовых вод: 5,85 см < 6,84 см;

при расчете безмодульным методом с учетом факторов уплотненности грунтов и последующего подтопления дополнительные осадки фундамента составляют: 1,40 см < 4,6 см < 7,5 см. Эти данные показывают реальные осадки фундаментов, вызванные подтоплением грунтов основания, а также изменениями сжимаемости грунтов, зависящими от уровня обводнения или высыхания.

Список литературы

1. Vanapalli S.K., Mohamed F.M. Bearing Capacity of Model Footings in Unsaturated Soils // Experimental Unsaturated Soil Mechanics. – 2007. – Vol. 112. – P. 483-493.
2. Kim Y., Jeong S. and Kim J. Coupled Infiltration Model of Unsaturated Porous Media for Steady Rainfall // Soils and Foundations. – 2016 – Vol. 56. – P. 1071-1081.
3. Mahmoudabadi V., Ravichandran N. Design of Shallow Footing Considering Site-Specific Rainfall and Water Table Data: Theoretical Framework and Application // International Journal of Geomechanics. – 2019. – Vol. 19 (7). doi:10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001432.
4. СП РК 5.01-102-2013 Основания зданий и сооружений. [Электронный ресурс] – URL: <https://new-shop.ksm.kz/egfntd/ntdgo/kds/6.php> (дата обращения: 09.09.2023).
5. СП 22.13330.2016 Основания зданий и сооружений. [Электронный ресурс] – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs> (дата обращения: 09.09.2023).
6. Utenov Y.S. Calculating bulding base settling in conditions of urban built-over territories. // Proceedings of Korea-Kazakhstan joint geotechnical seminar. – Incheon, Korea, August 21-22, 2012. – P. 157-162.
7. Утепов Е.С. Расчет оснований реконструируемых зданий. – Караганда: Изд-во КарГТУ. – 2013. – 237 с.
8. Утепов Е.С., Жусупбеков А.Ж., Абдрахманова К.А., Танырбергенова Г.К., Мухамеджанова А.Т. Расчет осадок фундаментов надстраиваемых зданий безмодульным методом // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2019. – № 4. – С. 8-13.
9. Nuguzhinov Zh.S., Mukhamejanova A.T., Tokanov D., Koishybay Zh., Zhumadilova N.Zh., Beketova M.S. Comprehensive study of the basses and foundations of furnaces No. 61, 63 of the melting shop No. 6 of the Aksu Ferroalloy Plant in connection with the renovation // Smart Geotechnics for Smart Societies. CRC Press. – 2023. – P. 1309-1313.
10. Utenov Y.S., Abildin S.K., A.T. Mukhamedzhanova A.T. Concerning the use of soil deformation modulus in geotechnical design // Proceedings of the international on geotechnics fundamentals and applications in construction: new materials, structures, technologies and calculations (GFAC 2019). – Saint Petersburg, Russia, 6-8 February, 2019. – P. 451-457.

11. Утенов Е.С. Расчет оснований зданий в условиях застроенных городских территорий. – Караганда: Изд-во КарГТУ. – 2004. – 248 с.

12. Мусабаев Т.Т. Межгосударственные схемы регионального развития как инструмент планирования приграничных территорий // Природные и техногенные риски. Безопасность сооружений. – 2023. – № 2(63). – С. 57-61. doi:10.55341/PTRBS.2023.63.2.005.

Ақсу ферроқорытпа зауытындағы электр пештерінің су басқан іргетасының шөгуді болжау әдістемесі

Т.Т.Мусабаев¹, Н.Ж. Жумадилова^{2*}, А.Т. Мухамеджанова¹, С.К. Мусина³

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

³М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Мәскеу, Ресей

Аңдатпа: Авторлар су басқан іргетастар салынғаннан кейін олардың жауын-шашынын болжаудың жаңа әдісін ұсынды. Өзірленген әдіс негіздің жүк көтергіш қабатында суланбаған топырақтың қажетті қуатын анықтауға, сондай-ақ суды төмендетудің оңтайлы тереңдігін таңдауға мүмкіндік береді. Бұл болжау әдістемесі штамптау Модулінің дәлірек мәндерін алу үшін топырақтың деформациясының қысу Модулінің және аударым коэффициенттерінің мәндеріне өзгерістер енгізуге мүмкіндік береді.

Зерттеудің негізгі тақырыбы Ақсу ферроқорытпа зауытының балқыту цехындағы № 61 және № 63 электр пештерінің негіздері мен іргетастарын кешенді талдаумен байланысты. Жұмыс барысында Инженерлік-геологиялық және гидрогеологиялық зерттеулер, геофизикалық зерттеулер, сондай-ақ бұрыннан бар Іргетастардың техникалық жай-күйіне талдау жүргізілді. Кешенді ғылыми-техникалық зерттеулерде базадағы топырақтың көпжылдық су қанықтылығын ескере отырып, ғимараттардың жауын-шашынын болжауға мүмкіндік беретін жаңа есептеу моделі жасалды. Бұдан басқа, № 61 және 63 электр пештерінің қолданыстағы іргетастарының сенімділігіне және оларды алдағы жөндеу контекстінде кейіннен қайта құру мүмкіндігіне бағалау жүргізілді.

Осылайша, бұл зерттеу және су басқан Іргетастардың шөгінділерін талдаудың және олардың сенімділігін бағалаудың жаңа әдістемесі геотехникалық жобалауға маңызды үлес қосады. Бұл жұмыстың нәтижелері жер асты суларының негіздерге әсерін дәлірек есепке алу негізінде ғимараттар мен құрылыстарды жобалау мен жөндеуді оңтайландыру үшін қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: сумен қаныққан топырақтар, сумен қанықпаған топырақтар, су басу, судың төмендеуі, іргетас, болжау жауын-шашын, қысу сынақтары.

Methodology for predicting settlement of waterlogged foundations of electric furnace foundations at Aksu Ferroalloy Plant

T. Mussabayev¹, N. Zhumadilova^{2*}, A. Mukhamedzhanova¹, S. Mussina³

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. The authors proposed a new method for predicting precipitation of flooded foundations after their construction. The developed technique makes it possible to determine the required capacity of the non-soaked soil in the bearing layer of the base, as well as to choose the optimal depth of water reduction. This forecasting technique provides an opportunity to make changes to the values of the compression modulus of soil deformation and conversion coefficients to obtain more accurate values of the stamp module.

The main research topic is related to the complex analysis of the bases and foundations of electric furnaces No. 61 and 63 in the melting shop of the Aksu ferroalloy plant. In the course of the work, engineering-geological and hydrogeological surveys, geophysical studies, as well as an analysis of the technical condition

of existing foundations were carried out. Based on comprehensive scientific and technical research, a new calculation model has been developed that allows you to predict the precipitation of buildings, taking into account the long-term water saturation of soils in the base. In addition, the reliability of the existing foundations of electric furnaces No. 61 and 63 and the possibility of their subsequent reconstruction in the context of the upcoming renovation were assessed.

Thus, this study and the developed new methodology for analyzing the sediment of flooded foundations and assessing their reliability makes an important contribution to geotechnical design. The results of this work can be applied to optimize the design and renovation of buildings and structures based on more accurate consideration of the impact of groundwater on the foundations.

Keywords: water-saturated soils, non-water-saturated soils, flooding, water reduction, foundation, precipitation forecasting, compression tests.

References

1. Vanapalli S.K., Mohamed F.M. Bearing Capacity of Model Footings in Unsaturated Soils // *Experimental Unsaturated Soil Mechanics*. – 2007. – Vol. 112. – P. 483-493.
2. Kim Y., Jeong S. and Kim J. Coupled Infiltration Model of Unsaturated Porous Media for Steady Rainfall // *Soils and Foundations*. – 2016 – Vol. 56. – P. 1071-1081.
3. Mahmoudabadi V., Ravichandran N. Design of Shallow Footing Considering Site-Specific Rainfall and Water Table Data: Theoretical Framework and Application // *International Journal of Geomechanics*. – 2019. – Vol. 19 (7). doi:10.1061/(ASCE)GM.1943-5622.0001432.
4. SP RK 5.01-102-2013 Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Foundations of buildings and structures]. – URL: <https://new-shop.ksm.kz/egfntd/ntdgo/kds/6.php> (Accessed: 09.09.2023) [in Russian].
5. SP 22.13330.2016 Osnovaniya zdaniy i sooruzheniy [Foundations of buildings and structures]. – URL: <https://minstroyrf.gov.ru/docs> (Accessed: 09.09.2023) [in Russian].
6. Utenov Y. Calculating bulding base settling in conditions of urban built-over territories. *Proceedings of Korea-Kazakhstan joint geotechnical seminar*. Incheon, Korea, August 21-22, 2012. P. 157-162.
7. Utenov Y.S. Raschet osnovaniy rekonstruiruyemykh zdaniy [Calculation of the foundations of reconstructed buildings] (KSTU, Karaganda, 2013, 237 p.) [in Russian].
8. Utenov Y., Zhusupbekov A., Abdrakhmanova K., Tanyrbergenova G., Mukhamedzhanova A. Raschet osadok fundamentov nadstraivayemykh zdaniy bezmodul'nym metodom [Calculation of foundation settlements of built-on buildings using a modular method], *Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov* [Foundations, foundations and soil mechanics], 2019.– № 4. P. 8-13 [in Russian].
9. Nuguzhinov Zh.S., Mukhamejanova A.T., Tokanov D., Koishybay Zh., Zhumadilova N.Zh., Beketova M.S. Comprehensive study of the bassetes and foundations of furnaces No. 61, 63 of the melting shop No. 6 of the Aksu Ferroalloy Plant in connection with the renovation // *Smart Geotechnics for Smart Societies*. CRC Press. – 2023. – P. 1309-1313.
10. Utenov Y., Abildin S., Mukhamedzhanova A. Concerning the use of soil deformation modulus in geotechnical design // *Proceedings of the international on geotechnics fundamentals and applications in construction: new materials, structures, technologies and calculations (GFAC 2019)*. Saint Petersburg, Russia, 6-8 February, 2019, P. 451-457.
11. Utenov Y. Raschet osnovaniy zdaniy v usloviyakh zastroyennykh gorodskikh territoriy [Calculation of building foundations in built-up urban areas] (KSTU, Karaganda, 2004, 248 p.) [in Russian].
12. Mussabayev T. Mezhgosudarstvennyye skhemy regional'nogo razvitiya kak instrument planirovaniya prigranichnykh territoriy [Interstate regional development schemes as a tool for planning border areas], *Prirodnyye i tekhnogennyye riski. Bezopasnost' sooruzheniy* [Natural and man-made risks. Safety of structures], 2023. № 2(63). P. 57-61. doi:10.55341/PTRBS.2023.63.2.005 [in Russian].

Сведения об авторах:

Мусабаев Т.Т. – доктор технических наук, профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 11, Астана, Казахстан.

Жумадилова Н.Ж. – PhD докторант, КарТУ имени Абылкаса Сагинова, пр. Нурсултана Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан.

Мухамеджанова А.Т. – PhD, старший преподаватель, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан.

Мусина С.К. – аспирант, МГУ имени М.В. Ломоносова, ул. Ленинские горы, 1, стр. 52, Москва, Россия.

Мұсабаев Т.Т. – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Қажымұқан к-сі, 11, Астана, Қазақстан.

Жумадилова Н.Ж. – PhD докторанты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Нұрсұлтан Назарбаев дан-лы, 56, Қарағанды, Қазақстан.

Мұхамеджанова Ә.Т. – PhD, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Қажымұқан к-сі, 11, Астана, Қазақстан.

Мұсина С.К. – аспирант, М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Ленин таулары к-сі, 1, 52-бет, Мәскеу, Ресей.

Mussabayev T. – doctor of technical sciences, professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan st., 11, Astana, Kazakhstan.

Zhumadilova N. – PhD student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nursultan Nazarbayev ave., Karaganda, Kazakhstan.

Mukhamedzhanova A. – PhD, senior lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan st., 11, Astana, Kazakhstan.

Mussina S. – PhD student, Lomonosov Moscow State University, bld. 52, 1 Leninskiye gory st., Moscow, Russia.

A.S. Sarsembayeva¹, A.Zh. Zhussupbekov, D.W.Chang²,
S.T.Mussakhanova^{1*}, A.R. Omarov¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Tamkang University, Taipei, Taiwan

E-mail: mussakhanova.saltanat@mail.ru

Calculation and modeling of seasonally freezing soils of the highway located near Kosshy town with Frost 3D program

Abstract. *This article simulates ground conditions on a road section near Kosshy settlement (Astana, Kazakhstan) using Frost 3D modeling program. This program is used in scientific and engineering projects to assess the impact of climate change on frozen soils and engineering structures built on them. This program allowed to perform a thermal forecast for a section of road pavement, which is located in the third climatic zone, where the soil is saturated with moisture and has a high filtration rate. A three-dimensional model of the design area was also developed, taking into account the terrain and geological and lithological structure of the soil. This software complex allows to receive scientifically grounded forecasts of thermal regimes of permafrost soils under conditions of thermal impact of pipelines, production wells, hydraulic and other structures taking into account thermal stabilization of the ground. In this work we applied the program capabilities for seasonally freezing soils of Astana. Modeling in the program Frost 3D Universal allowed us to simulate and predict heat and mass transfer in the ground, as it can affect the service life of the road surface. The soil bases of highways as well as pavement layers remain in a stable frozen state during short-term temperature increases up to +6.6 °C and have a sufficient safety margin. When the air temperature rises for a short period of time, only 25 cm of the upper part of the pavement is exposed, which corresponds to the top layer of the hot highly porous asphalt concrete mix base.*

Key words: Frost 3D, frozen soil, highway, computer modeling, epoxy resin.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-154-164

1. Introduction

The Frost 3D Universal software complex allows you to obtain scientifically based forecasts of the thermal regimes of perennial frozen soils in conditions of thermal impact of pipelines, extractive Wells, hydraulic engineering and other structures, taking into account the thermostabilization of the soil. The software was developed on the basis of simmakers ten-year experience in the field of programming, computational geometry, numerical methods, three-dimensional visualization and parallelization of computational algorithms. The studied section of the highway is located in the area of the Karkaraly highway, 8 km from the bypass road towards the village of Kosshy.[6]

The predictive-thermal calculation of a road pavement fragment in the road climatic zone in a section of moisture saturated soil with high filtration rate was carried out. The road section is located at 50° north latitude. The size of the modeled section is 80x24 m. The ground slope is 1: 2 m. The site to be modeled is shown in Figure 1.[1]



Figure 1 - Investigated area on the map

The groundwater surface is level, intersected by the left and right boundaries of the site at a depth of 2.1 meters below ground. The temperature at a depth where there is no annual thermal variation is -1.5°C . The climatic conditions are outlined in Table 1. The average thermal conductivity of the winter snow cover is $0.28 \text{ W}/(\text{m}\cdot\text{K})$. The temperature is rising at a rate of 0.06°C per year [2].

Table 1. Climatic conditions

Parameters	Months											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
Air temperature, $^{\circ}\text{C}$	-15,1	-14,8	-7,7	5,4	13,8	19,3	20,7	18,3	12,4	4,1	-5,5	-12,1
Wind speed, m/s	4.7	4.4	5	4.5	4.5	4.1	4.1	3.7	3.8	4.6	5	4.7
Snow cover height, m	0.19	0.23	0.19	0.01	0	0	0	0	0	0	0.04	0.13

2. Methods and materials

2.1 Features of the Frost 3D program

Basic functionality of Frost 3D Universal:

- creation of a three-dimensional geometry of the calculated area, taking into account the relief of the Earth's surface and the geological and lithological structure of the soil;
- creation of a three-dimensional geometry of the foundations and foundations of pipelines, production wells, structures;
- Import three-dimensional geometries of objects in Wavefront (OBJ), StereoLitho (STL), 3D Studio Max (3DS) and Frost 3D Objects (F3O)formats;
- maintaining a database of thermal and physical properties of soils, materials of construction objects, climatic factors and parameters of cooling devices;
- designation of thermal-physical and hydrological properties and conditions of heat exchange on the surfaces of objects for three-dimensional geometric objects;

- calculation of the temperature distribution in the design area and the composition of non-frozen water, taking into account phase transformations and convective heat transfer;
 - calculation of groundwater filtration;
- Advantages of Frost 3D Universal:
- based on modern scientific achievements in the field of quantitative methods and mathematical modeling of thermal mass transfer processes;
 - The calculation algorithms of the Frost 3D Universal program are parallel to the multi-core 64-bit CPU and GPU architecture, which made it possible to increase the calculation speed tens of times compared to sequential calculation algorithms;
 - is a unique software solution that takes into account the features of the process of thermo-stabilization of frozen soil using cooling devices;
 - allows a long-term forecast of the thawing of perennial frozen soils of large estimated areas (kilometers);
 - takes into account the influence of the dynamics of changes in the thickness of the snow cover and the intensity of solar radiation on the temperature regime of the soil;
 - ability to change thermal-physical properties and heat exchange conditions in the calculation process;
 - calculation of groundwater filtration;
 - convective transport of heat by filtration of groundwater takes into account.

2.2. Numerical Simulation of 3D Frost

The purpose of the study is to calculate the roadway on frozen soil in the Frost 3D program. By default, the two-dimensional estimated area is 60x60 M. it is necessary to set the beginning of the coordinates (0; 0), and the linear dimensions of the two-dimensional platform in the X and Y directions should be equal to 80 and 20 m, respectively.

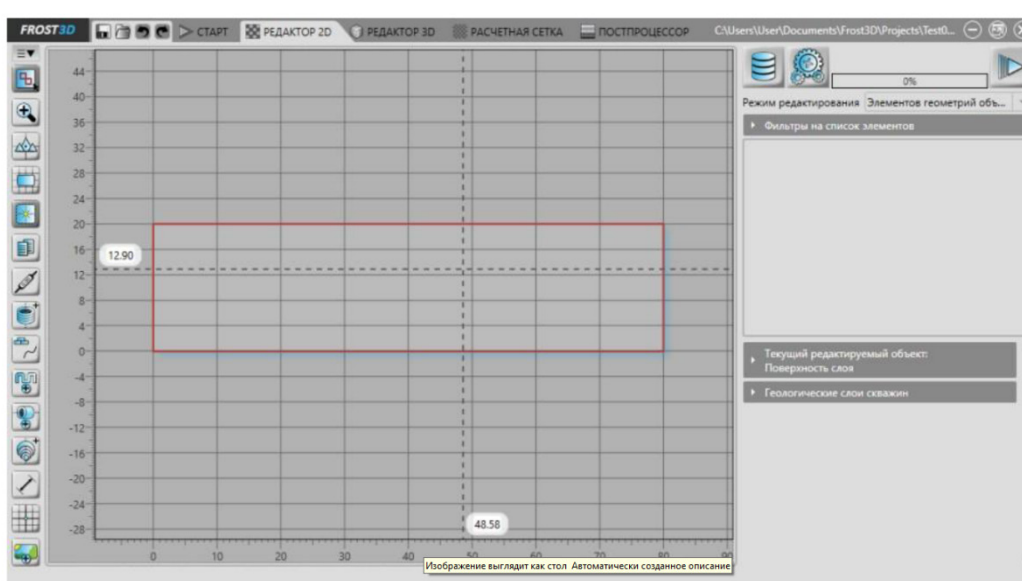


Figure 2. Two-dimensional calculation zone with a size of 80x20 mm

2.3. Creation of materials and determination of their physical properties

Within the framework of the computer model, objects are geological layers, artificial engineering geological elements, engineering structures and cooling devices. Objects have geometry (shape and position in three-dimensional space), as well as thermal-physical properties. In the Frost 3D software complex, a complete set of physical properties of an object is called a material. Materials are stored in a special database (library), which allows you to install the same

material on several objects (in other words, it gives the same physical properties to objects that are different in their objects and positions). The Frost 3D software complex allows you to process materials (physical properties of existing objects) at any stage of building a computer model [7].

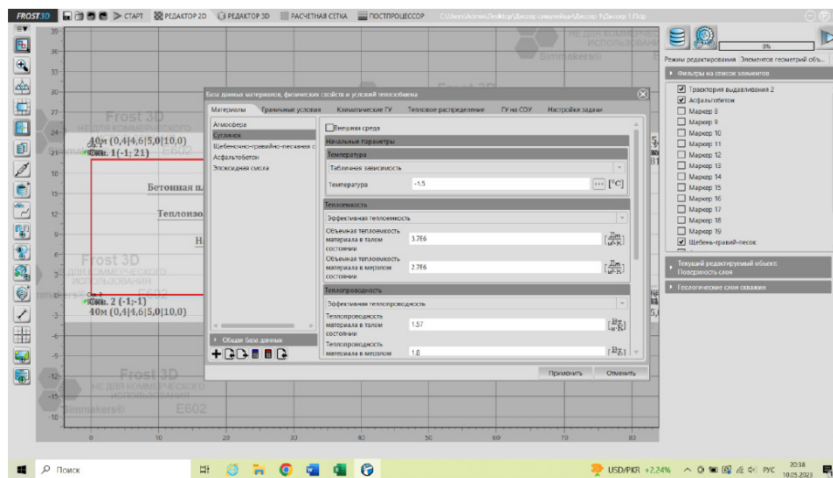


Figure 3. Geological layers and their parameters

Further, according to Table 1, the average monthly temperature values for 2018. It should be introduced from the 1st month to the 12th month of 2022.

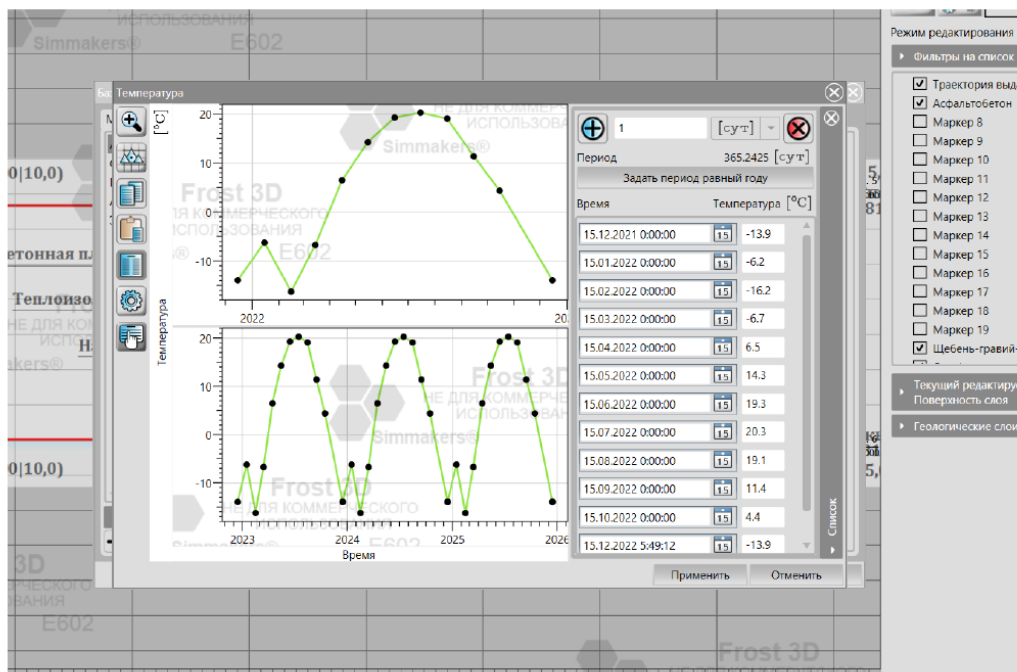


Figure 4. Dependence of temperature on time

When you are in the editing mode of geometry elements of objects on the toolbar, you need to select the "Add Geological drilling" option. Next, the geological well must be placed in the appropriate place of the site to be modeled. On the "положение и приоритет" tab, you need to specify the value of the coordinate of the absolute sign of the estuary (equal to 40 m in the case under consideration), and in this field you can also edit the coordinates of the well, which characterize its position in the simulated area. Thus, we place 6 wells on the simulated site. Next, it is necessary to establish a common chain of geological layers for all wells (Figure 4). In the field

of properties, you need to add 4 geological layers by clicking on the " Add Layer "button in the" geological layer " field.

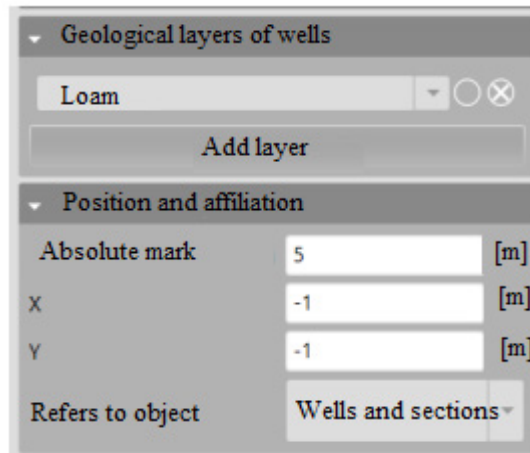


Figure 5. Sequence and power of geological layers of Wells

To build a heap, you need to select "Create element geometry (rectangle)" from the toolbar in object creation mode. All parameters of the object are located in the properties area on the right. Here you need to set the position of the hob, its height, extrusion parameters and other parameters. By analogy, the parameters of the elements of the heat insulator and the concrete slab are created, changed and set.

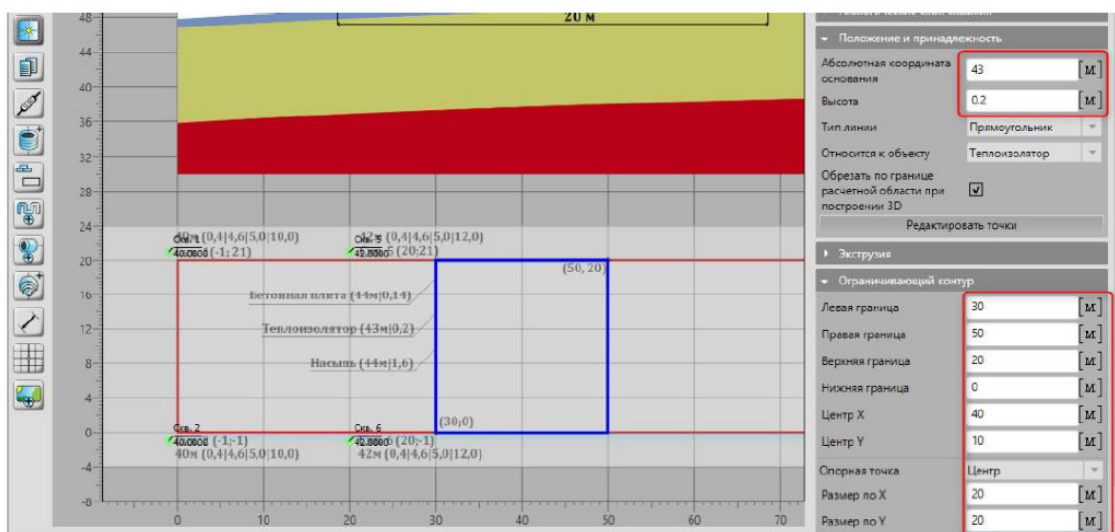


Figure 6. Concrete slab and its properties

3. Results and discussion

"Editor 2D "to restore three-dimensional geometry on given geometric objects, you need to click on the "next stage" button in the Go menu. In the "Interpolators" window that appears, enter the number of interpolation points along the Y-axis to 2 and click "Set".

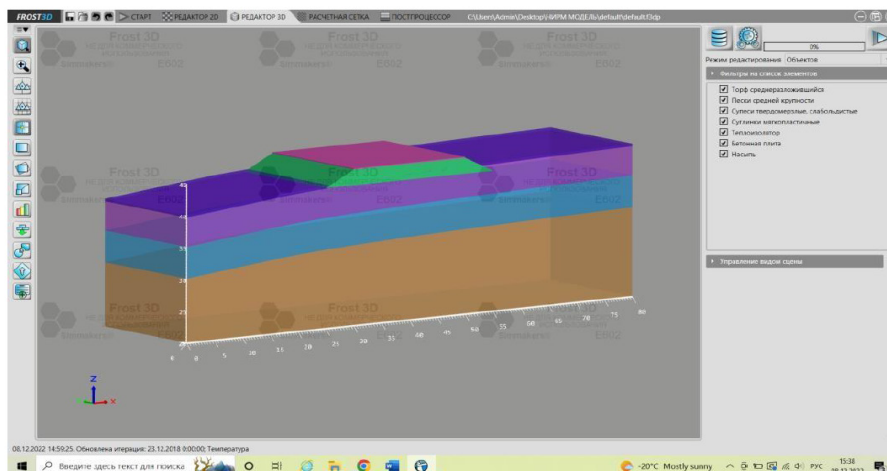


Figure 7. Geometry of a three-dimensional model obtained after Reconstruction from a two-dimensional drawing

To do this, in the “Editor 3D” tab, you need to go to the page mode of objects and select the desired page in the three-dimensional geometry of the calculated area, in the “ Granichnye conditions ” field, select the name of the boundary condition corresponding to this page. After completion or during the calculation process, you can view the obtained modeling results. To do this, you need to go to the “ PostProcessor ” Figure 8. In the figures below the mark 0 is taken as the mark corresponding to 320 m above the level of the Baltic Sea.

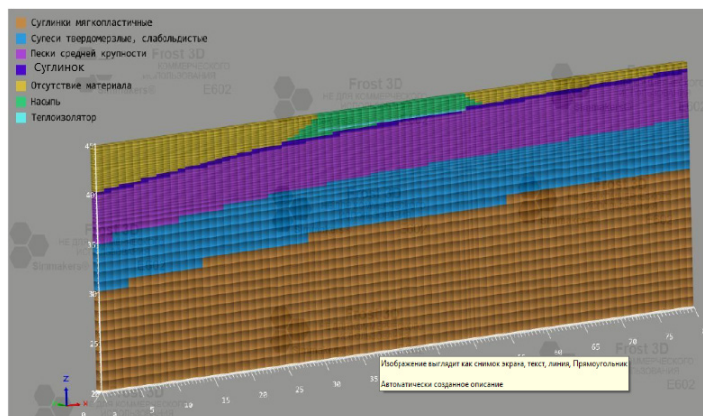


Figure 8. PostProcessor

As a result, the color distribution of the temperature is displayed, where blue corresponds to the lowest temperature, and red-to the highest temperature Figure 9.

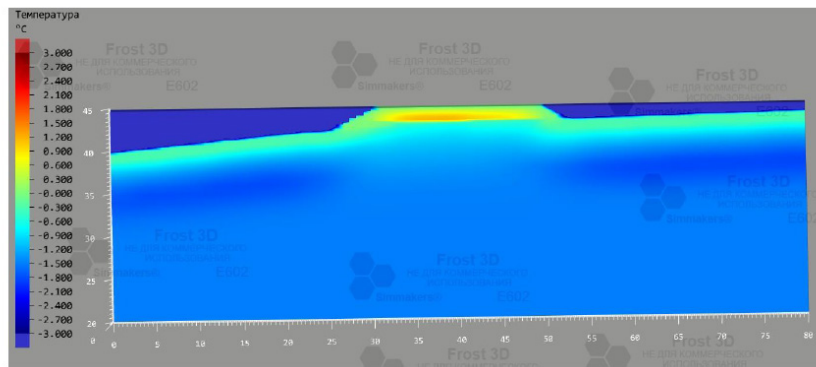


Figure 9. Three-dimensional visualization of the temperature distribution in the XZ section of the calculation area for January 2023

Recalculation of this model is carried out in the same sequence, but by adding one layer of polymer. Polymers are widely used in engineering construction, including for vapor barrier in soil. Polymers are used to create a reliable vapor barrier membrane that protects building structures from the penetration of water vapor. One of the most common polymers for soil vapor barrier is polyethylene. Polyethylene membranes have high strength, resistance to corrosion and chemical influences, as well as good adhesion to concrete and other building materials.[3]

Polymers have low thermal conductivity and volumetric heat capacity, so we use them to strengthen the vapor barrier on the ground. Epoxy resin was chosen for this work. Epoxy is a two-component material obtained by mixing epoxy resins and hardener. It is a high-strength and resistant material that has chemical resistance, adhesion, water resistance and other beneficial properties. In engineering construction, epoxy is used for various purposes, including corrosion protection of metal structures, repair of concrete and the creation of vapor barriers in the soil. In the soil, epoxy can be used to create a vapor barrier membrane membrane that protects building structures from moisture and water vapor. The use of epoxy in the soil has a number of advantages. This material has high chemical resistance and resistance to aggressive substances in the soil, such as oil and petroleum products. In addition, epoxy has a high adhesion to concrete and other materials, making it an effective material for creating a durable vapor barrier membrane in the soil. However, there are some limitations to consider when using epoxy in soil. For example, when applying epoxy to the soil, it is necessary to ensure good surface preparation and correct application of the material. In addition, it is necessary to take into account the technical requirements and recommendations of the manufacturer of the material. Changes to the calculation must be made in paragraph 2.4. where we created geological layers. Add a layer of polyamide resin 3 mm thick.[4]

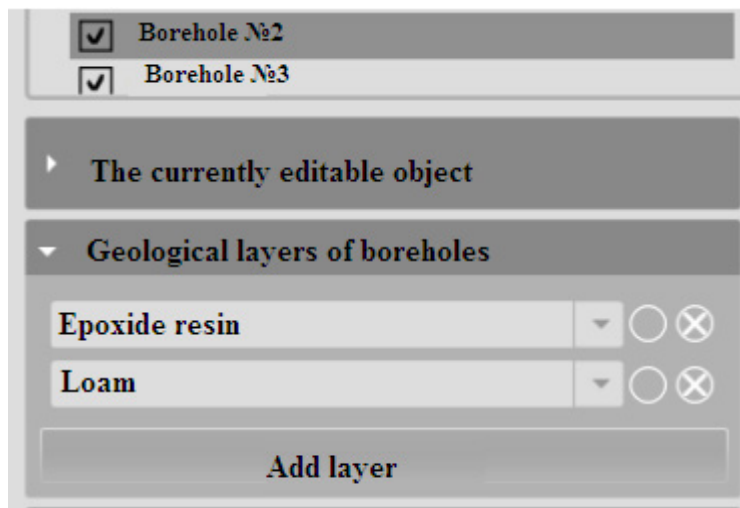


Figure 10. New sequence of geological layers of the well

The next stages of modeling are made in the same order Figure 11.

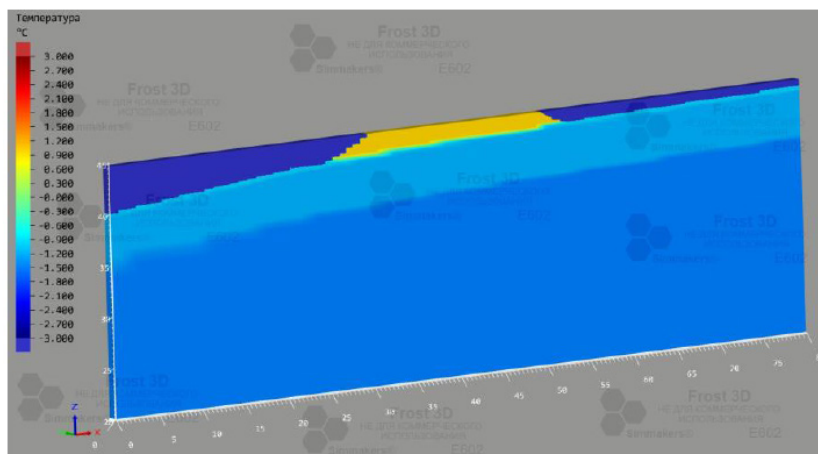


Figure 11. Three-dimensional visualization of the temperature distribution in the XZ section of the calculated area for January 2023 with the addition of a polymer layer.

As a result, the color distribution of the temperature is displayed, where the blue color corresponds to the lowest temperature, and the red color corresponds to the highest temperature. To visually show the temperature distribution, you need to adjust and display the “scale”, which indicates the correspondence between color and temperature. [5]

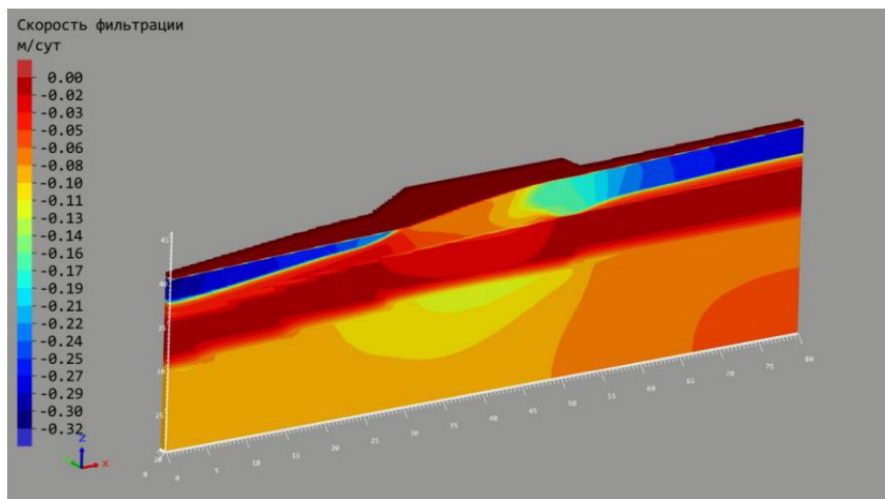


Figure 12. Mapping in the calculated area of the three-dimensional distribution of the filtration rate along the X-axis

4. Conclusions

1. As a result of the study, a thermal forecast calculation of a fragment of the road surface in the III Road climatic zone was made on a section of soil saturated with moisture with a high filtration rate.
2. Construction of a three-dimensional geometry of the calculated area, taking into account the relief of the Earth's surface and the geological and lithological structure of the soil.
3. Maintaining a database of thermal and physical properties of soils, materials of construction objects, climatic factors and parameters of cooling devices.
4. The soil bases of highways, as well as the layers of the pavement, remain in a stable frozen state at short-term temperature increases up to +6.6 °C due to subcompensation of heat (heat transfer) of the subject layers and have a sufficient safety margin.
5. During short-term increases in air temperature, only 25 cm of the top of the pavement is exposed, which corresponds to the top layer of the base made of hot highly porous asphalt concrete mixture.
6. The application of an additional layer of polymer material at a depth of 53 cm resulted in increased thermal insulation, waterproofing and prevention of frost heave.

Acknowledgement

This work was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP13268861).

References

1. Sarsembayeva A., Zhussupbekov A., Collins P.E.F. Heat and Mass Transfer by Vapour in Freezing Soils. *Energies* 2022, 15, 1515. <https://doi.org/10.3390/en15041515>
2. Sarsembayeva A., Zhussupbekov A. Experimental study of deicing chemical redistribution and moisture mass transfer in highway subsoils during the unidirectional freezing. *Transportation Geotechnics*, 2021, 26, 100426.
3. Teltayev B., Oliviero Rossi C., Aitbayev K., Suppes E., Yelshibayev A., Nugmanova A. Freezing and Thawing Processes of Highways in Kazakhstan // *Applied Sciences*. — 2022. — Vol. 12, No. 23. — P. 11938. <https://doi.org/10.3390/app122311938>

4. Ren Z., Liu J., Jiang H., Wang E. Experimental study and simulation for unfrozen water and compressive strength of frozen soil based on artificial freezing technology // Cold Regions Science and Technology. — 2023. — Vol. 205. — P. 103711. <https://doi.org/10.1016/j.coldregions.2022.103711>
5. Zhang, J., Gao, S., Sun, Y., & Li, J. (2019). Review of design criteria for pipelines in permafrost regions. Cold Regions Science and Technology, 160, 75-87.
6. GOST 25100-2020 «Soils. Classification». Moscow. Standartinform. 2020/ [Electronic resource]. Available at: <https://files.stroyinf.ru/Data/738/73839.pdf>
7. Sarsembayeva A., Saginov Z., Tolkynbayev T., Mussakhanova S.T. Accumulation of moisture in winter at the base of the road due to the forces of cryosuction on the example of monitoring a highway in Astana, Kazakhstan, Smart Geotechnics for Smart Societies Proceedings of the 17th Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering p.2630-2636, DOI <https://doi.org/10.1201/9781003299127>.

Қосшы қ. ауданында Frost 3D бағдарламасында автомобиль жолының маусымдық қататын топырақтарын есептеу және модельдеу

А.С.Сарсембаева¹, А.Ж.Жусупбеков¹, Дер Вен Чанг², С.Т.Мусаханова¹, А.Р.Омаров¹,

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Тамканг Университеті, Тайбэй, Тайвань

Андатпа. Бұл мақалада Frost 3D модельдеу бағдарламасын пайдалана отырып, Қосшы кентінің (Астана, Қазақстан) маңындағы жол учаскесіндегі топырақ жағдайлары модельденеді. Бұл бағдарлама ғылыми және инженерлік жобаларда климаттың өзгеруінің мұздатылған топырақтарға және оларға салынған инженерлік құрылыстарға әсерін бағалау үшін қолданылады. Бұл бағдарлама топырақ ылғалмен қаныққан және сүзу жылдамдығы жоғары үшінші климаттық аймақта орналасқан жол жамылғысының учаскесіне жылу болжамын жасауға мүмкіндік береді. Сондай-ақ, Жердің рельефі мен топырақтың геологиялық-литологиялық құрылымын ескере отырып, жобаланған учаскенің үш өлшемді моделі жасалды. Бұл бағдарламалық кешен топырақтың термостабилизациясын ескере отырып, құбырлардың, пайдалану ұңғымаларының, гидротехникалық және басқа құрылыстардың жылу әсерінен мәңгі мұздатылған топырақтың жылу режимдерінің ғылыми негізделген болжамдарын алуға мүмкіндік береді. Бұл жұмыста біз Астананың маусымдық қатып қалған топырақтарына арналған бағдарламаның мүмкіндіктерін қолдандық. Frost 3D Universal бағдарламасындағы модельдеу бізге жердегі жылу мен массаның тасымалдануын модельдеуге және болжауға мүмкіндік берді, өйткені бұл жол төсемінің қызмет ету мерзіміне әсер етуі мүмкін.

Түйінді сөздер. Frost 3D, мұздатылған топырақ, автожол, компьютерлік модельдеу, эпоксидті шайыр.

Расчет и моделирование сезоннопромерзающих грунтов автомобильной дороги в районе г. Косши с в программе Frost 3D

А.С.Сарсембаева¹, А.Ж.Жусупбеков¹, Дер Вен Чанг², С.Т.Мусаханова¹, А.Р.Омаров¹

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

²Тамкангский Университет, Тайбэй, Тайвань

Аннотация. В данной статье с помощью программы трехмерного моделирования Frost 3D моделируются грунтовые условия на участке дороги в районе поселка Косши (Астана, Казахстан). Эта программа используется в научных и инженерных проектах для оценки влияния изменения климата на мерзлые грунты и возводимые на них инженерные сооружения. Данная программа позволила выполнить тепловой прогноз для участка дорожного покрытия, которое находится в третьей климатической зоне, где грунт насыщен влагой и имеет высокую скорость фильтрации. Так же была разработана трехмерная модель расчетной площади, учитывающая рельеф местности и геолого-литологическое строение грунта. Этот программный комплекс позволяет получать научно обоснованные прогнозы тепловых режимов вечномерзлых грунтов в условиях теплового воздействия трубопроводов, добывающих скважин, гидротехнических и других сооружений с учетом термостабилизации грунта. В данной работе мы применили возможности программы

для сезоннопромерзающих грунтов г. Астаны. Моделирование в программе Frost 3D Universal позволило нам смоделировать и спрогнозировать теплоперенос в грунте, так как он может повлиять на срок службы дорожного покрытия.

Ключевые слова. Frost 3D, мерзлый грунт, автодорога, компьютерное моделирование, эпоксидная смола.

Сведения об авторах:

Рус.:

А.С. Сарсембаева – к.т.н., PhD (UK), и.о. доцента, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, кафедра Строительство, ул. Кажымукана 13, Астана, Казахстан, +77078503035, assel_enu@mail.ru

А.Ж. Жусупбеков – д.т.н., профессор, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, кафедра Строительство, ул. Кажымукана 13, Астана, Казахстан, +77015118382, astana-geostroi@mail.ru

Д.В. Чанг – PhD, профессор, кафедра Строительство, Тамкангский Университет, #151, Yin-Chuan Road, Tamsui District, New Taipei City, Тайбэй, Тайвань, +886936039736, dwchang@mail.tku.edu.tw

С.Т. Мусаханова – магистр тех.наук, докторант, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, кафедра Строительство, ул. Кажымукана 13, Астана, Казахстан, +77054405529, musaxanova.saltanat@mail.ru

А.Р. Омаров – PhD, старший преподаватель, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, кафедра Строительство, ул. Кажымукана 13, Астана, Казахстан, +77078466622, omarov_01@bk.ru

Каз.:

А.С. Сарсембаева – к.т.н., PhD (UK), и.о. доцента, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, кафедра Строительство, ул. Кажымукана 13, Астана, Казахстан, +77078503035, assel_enu@mail.ru

А.Ж. Жусупбеков – т.ғ.д., профессор, Л.Н. Гумилев ат. ЕҰУ, Құрылыс кафедрасы, Қажымукан көш. 13, Астана, Қазақстан, +77015118382, astana-geostroi@mail.ru

Д.В. Чанг – PhD, профессор, кафедра Строительство, Тамкангский Университет, #151, Yin-Chuan Road, Tamsui District, New Taipei City, Тайбэй, Тайвань, +886936039736, dwchang@mail.tku.edu.tw

С.Т. Мусаханова – магистр тех.наук, докторант, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, кафедра Строительство, ул. Кажымукана 13, Астана, Казахстан, +77054405529, musaxanova.saltanat@mail.ru

А.Р. Омаров – PhD, старший преподаватель, ЕНУ им. Л.Н. Гумилева, кафедра Строительство, ул. Кажымукана 13, Астана, Казахстан, +77078466622, omarov_01@bk.ru

Англ.:

A.S. Sarsembayeva – PhD (UK), L.N. Gumilyov ENU, Department. of Civil Engineering, 13 Kazhymukan st., Astana, Kazakhstan, +77078503035, assel_enu@mail.ru

A.Zh. Zhussupbekov – PhD ing, L.N. Gumilyov ENU, Department. of Civil Engineering, 13 Kazhymukan st., Astana, Kazakhstan, +77015118382, astana-geostroi@mail.ru

D.W.Chang – PhD, Professor, Dept. of Civil Engineering, Tamkang University #151, Yin-Chuan Road, Tamsui District, New Taipei City, Taiwan, +886-2-2621-5656, E-mail: dwchang@mail.tku.edu.tw

S.T. Mussakhanova – master's degree, PhD Student, L.N. Gumilyov ENU, Department. of Civil Engineering, 13 Kazhymukan st., Astana, Kazakhstan, +77054405529, musaxanova.saltanat@mail.ru

A.R. Omarov – PhD, L.N. Gumilyov ENU, Department. of Civil Engineering, 13 Kazhymukan st., Astana, Kazakhstan, +77078466622, omarov_01@bk.ru

A. Zhussupbekov¹, D.W. Chang², A. Omarov¹, A. Issakulov¹,
D. Mukhanov¹, A. Yessentayev¹

¹Department of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana,
Kazakhstan

²Department of Civil Engineering Tamkang University, New Taipei City, Taiwan
E-mail: issakulov.abilkhair@gmail.com

Comparison of bearing capacities of model drilled micro piles using DDS and CFA technologies

Abstract. Drilled piles installed using CFA (Continuous Flight Auger) and DDS (Drilled displacement system) technologies are relatively new construction products in the market of Kazakhstan for the last 15 years, but already today the technology has a significant practical value in the construction of the cities of Astana, Almaty and other regions. This article presents model tests of bored piles installed using Drilled Displacement System (DDS) and Continuous Flight Auger (CFA) technologies on a volumetric bench. For testing we used 1:20 scale, piles diameter was 20 mm, length was 300 mm. Drilling was performed using augers that were prepared in advance through a 3D printer. The load on the model piles was applied in steps of 39 N up to the ultimate load of 391 N. Based on the results of the study, the «settlement-load» plots of the DDS and CFA model piles were obtained, as well as a comparison of the bearing capacity of these piles by static test method. Based on the study, it was found that the DDS piles exhibit good bearing capacity performance compared to the CFA piles. Overall, the results of the study provide valuable information on the performance behavior of DDS and CFA piles, which can be used to optimize their design and installation in different soil types.

Keywords: scaled model tests, model piles, bearing capacity, static load test.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-165-174

1. Introduction

CFA (continuous flight auger) and DDS (Drilled displacement system) technologies were mastered in Kazakhstan about twenty years ago, when constructing bases and foundations of buildings and structures erected on weak soils. During the CFA and DDS pile construction in the new capital city the equipment of Italian company «SoilMec» and German company «Bauer» were used. The borehole for the piles is developed with the help of a continuous through auger drilling, which results in the excavation of the soils. The technology of CFA piles using continuous through auger, includes the following steps [1, 2, 3]:

1. Installation of drilling equipment at the drilling site (Figure 1 a);
2. Drilling the borehole with auger string to the design grade (Figure 1 b);
3. Gradual extraction of the auger string with simultaneous filling of the borehole with concrete mixture (Figure 1 c);
4. Moving the drilling equipment to another drilling location (Figure 1 d);
5. Installation of the reinforcement cage by vibratory dipping using a crane (Figure 1 e);
6. Formation of the pile head for connection to the pile pedestal (Figure 1 f).

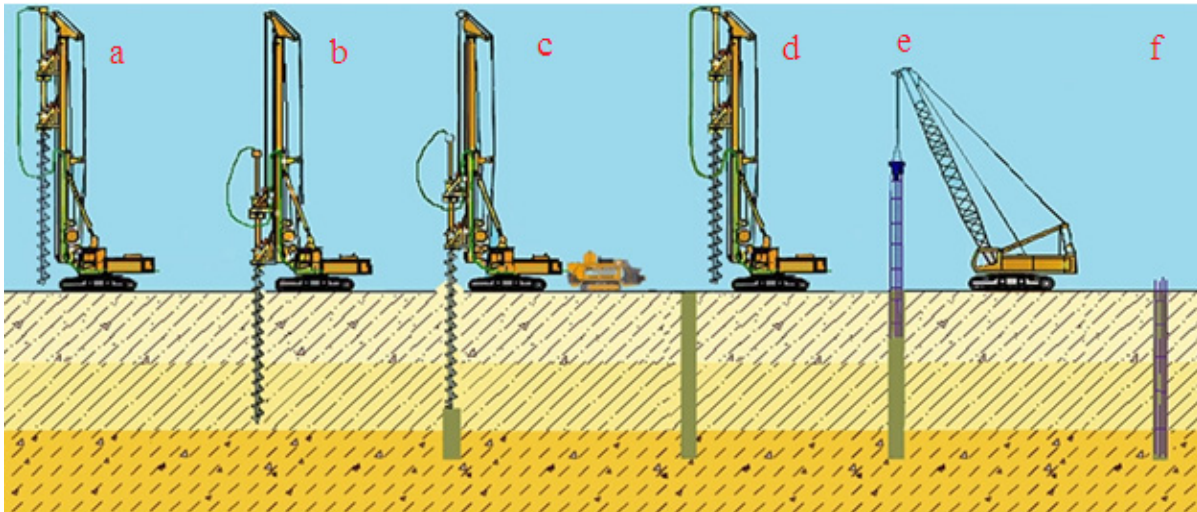


Figure 1. Diagram of pile fabrication using CFA technology

The diameter of the borehole is equal to the diameter of the drill tip of the auger string, which can be 400, 450, 500, 600, 600, 700, 800, 900, 1000, and 1200 mm. CFA bored piles have the following advantages [3, 4, 5]:

- Automated control of the pile device, through which it is possible to obtain data of auger immersion depth, drill rotation parameters, parameters of injected concrete;
- Possibility to use the technology in sandy soils and tight plastic loamy soils, as well as the soils with a significant difference in the strength of the layers;
- the possibility of piling near existing buildings, because as a result of excavation of the ground surface is not dislodged, and the use of small-sized drilling rigs in confined spaces have insignificant vibration effects on existing buildings and structures;
- High productivity of CFA piles. The productivity of CFA piles is 3 times higher than the productivity of traditional technology of bored piles under protective casing in the ground conditions of Astana;
- Automated drilling tool cleaning system.

The disadvantage of CFA technology can be attributed to the high consumption of concrete when piling on water-saturated dusty-clay soils as a result of overpressure and high compressibility of weak soils.

The DDS (Drilled Displacement System) or FDP (Full Displacement Pile) technology was developed by the same German company «Bauer» and represents the drilling of a pile without excavation and with full displacement of the soil with the help of a special drilling element - a packer. The packer is a series of conical rollers successively mounted on the shaft, the axes of which are displaced relative to the common axis of the shaft to the sides. Thus, when rotating the shaft, the rollers rotate in a helical line, realizing the feed of the reamer, which allows to carry out penetration in the ground due to the torque applied to the shaft of the reamer. The use of the reamer provides drilling of a borehole with smooth and strong walls of significant diameter.

The design of the roller allows the concrete to be delivered during the upward stroke of the roller. The DDS technology, which allows piles to be made at a fairly high speed, without vibration and noise, has a number of undeniable advantages:

- High productivity of piling (up to 30 piles per shift);
- Application of the technology reduces the cost of works by saving on the cost of soil removal;
- High quality of concrete filling of the borehole, as a result of its delivery under pressure;
- High bearing capacity of piles due to soil compaction and pressurized concrete mixture supply;

- high accuracy of pile arrangement controlled by on-board computer [6, 7, 8].

The use of special drilling tools makes it possible to install piles through dense sand layers, and in the presence of obstacles in the form of rocks, it is possible to continue drilling by replacing the drilling tool with a boring tool.

Despite the above-mentioned qualities, DDS technology has the following disadvantage:

- Increased attention to work order, as it may affect the foundations of adjacent buildings and structures, as in the case of other compaction technologies.

The investigated DDS technology has long been internationally recognized, but in the difficult ground conditions of Kazakhstan, the operation of DDS piles is still not fully understood [9, 10, 11].

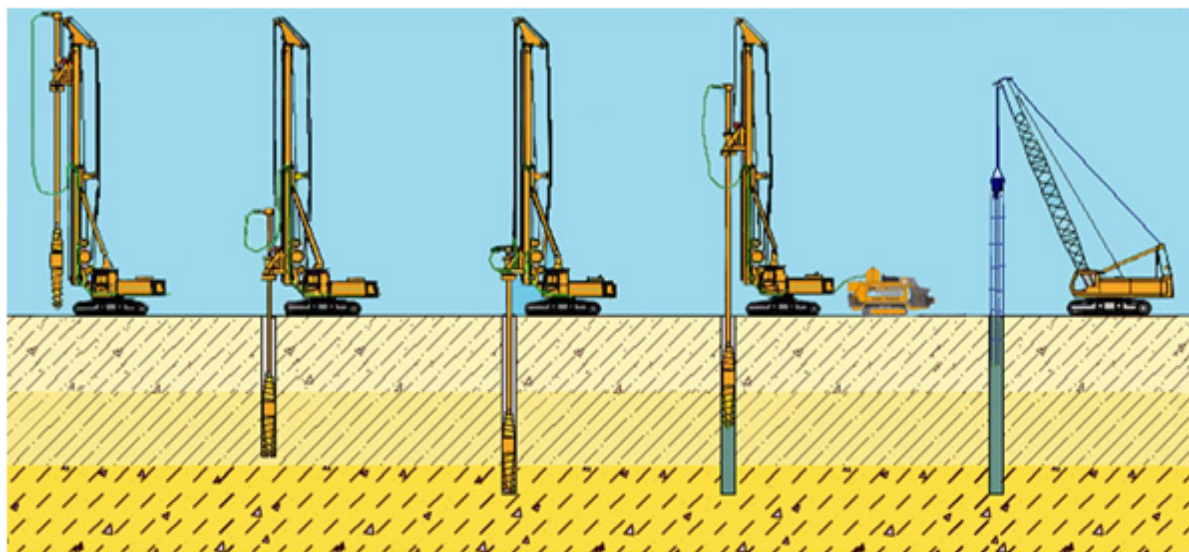


Figure 2. Diagram of pile production using DDS technology

The purpose of this study is to conduct model tests on a volume bench installed using DDS and CFA technologies and to compare their load carrying capabilities.

2. Laboratory scaled model study

Model tests were carried out on a volumetric stand, the design of which was developed and implemented under the guidance of Professor A.Zh. Zhussupbekov at the Geotechnical Institute of the Eurasian National University named after L.N. Gumilev.

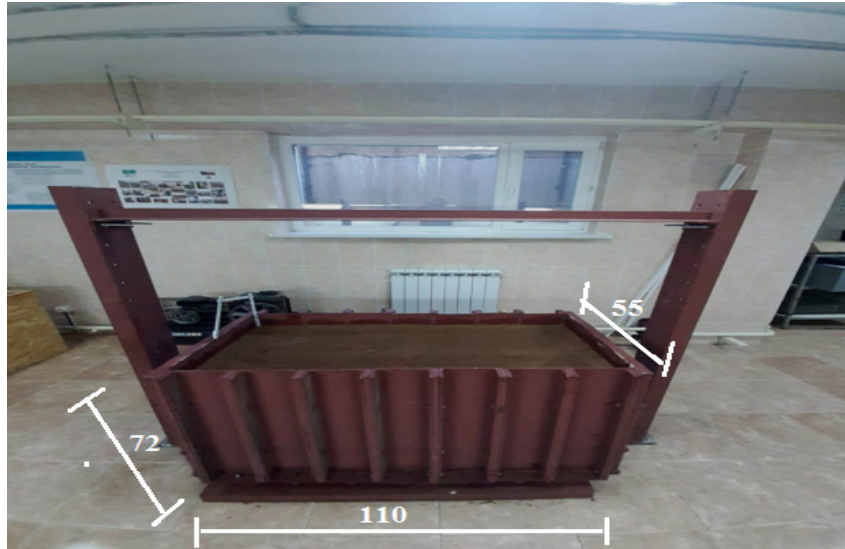


Figure 3. Volumetric stand

An equivalent material (97% fine silica sand and 3% spindle oil) was used as a base, the physical and mechanical characteristics of which are summarized in Table 1.

Table 1. Physical and mechanical characteristics of natural soil and equivalent material

Name of soils of full-scale and model material	Specific gravity, γ , kN/M^3	Clutch, C , kPa	Angle of internal friction, φ , deg.	Modulus of deformation, E , MPa	Poisson's ratio, μ
Loam	20,5	40,0	29	-	-
model material	17,0	0,9	37	0,24	0,25

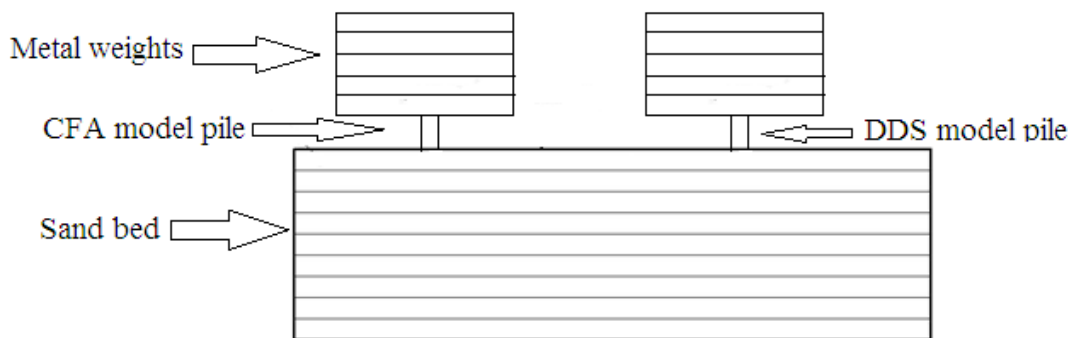


Figure 4. Schematic of horizontal loads acting on model piles of DDS and CFA technologies

Soil drilling was performed using simulated augers. Drilled Displacement System (DDS) and Continuous Flight Auger (CFA) augers were designed in 1:20 scale and printed on a 3D printer. The augers were 20 mm in diameter and 300 mm in length.

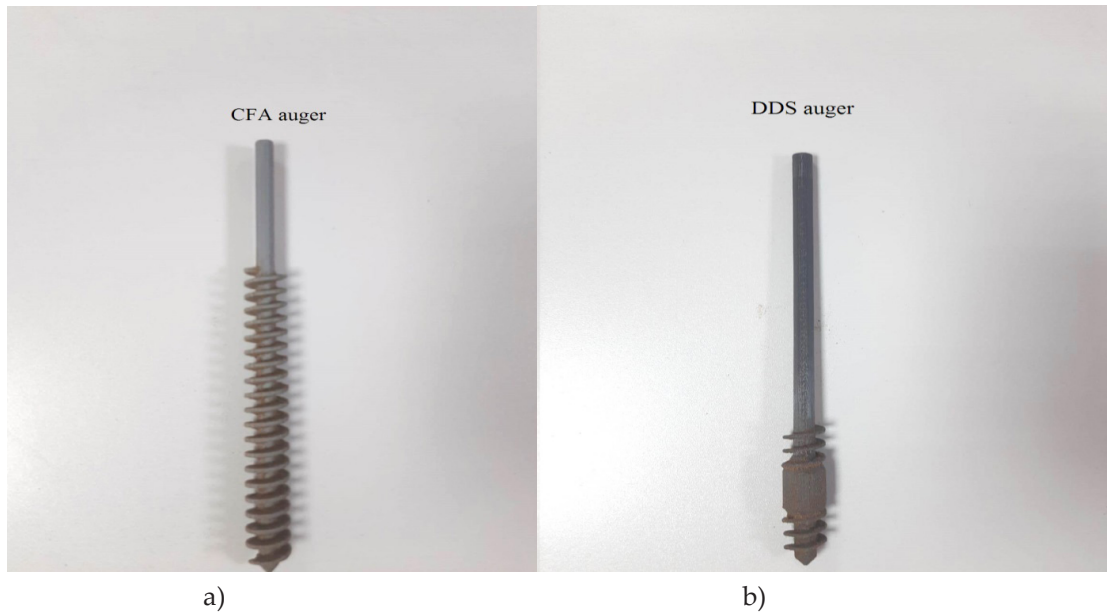


Figure 5. Model pile augers (a) DDS and (b) CFA

Static testing of model piles was performed using metal weights that were loaded on the piles. The weight of one weight was 4 kg. The load on the model piles was applied in steps of 39 N up to the ultimate load of 391 N.

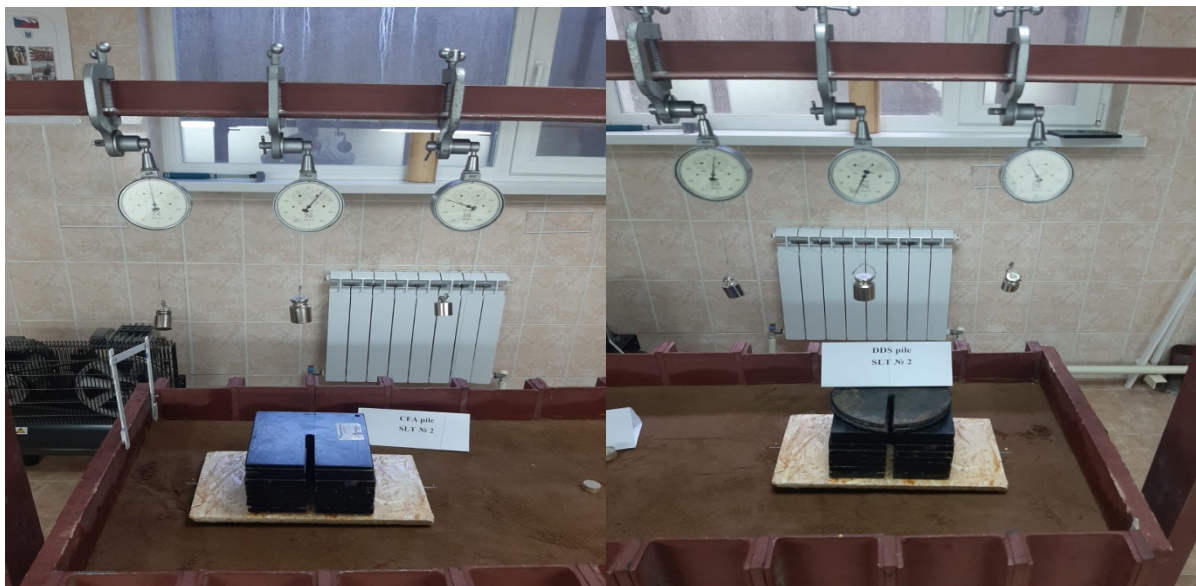


Figure 6. Static Load Tests of DDS model pile and CFA model pile

After drilling, the borehole was filled with concrete. Fine sand and cement of M300 grade were used for concrete. Figure 7 shows photos of model piles after static loading.



Figure 7: Model piles after static testing

3. Results and discussion

Static tests on the model piles DDS (Drilled displacement system) and CFA (Continuous flight auger) were carried out on the volumetric stand. After the static test, the «settlement- load» graphs of the DDS and CFA piles were obtained. The DDS model pile settlement was 16.03 mm, and the one corresponding to CFA model pile was 17.49 mm.

The CFA technology piles at a load of 313 N were completely submerged. The test results show that the bearing capacity of the DDS model pile is higher than the CFA piles. It is observed that the auger influence of the model pile is significant to the test results.

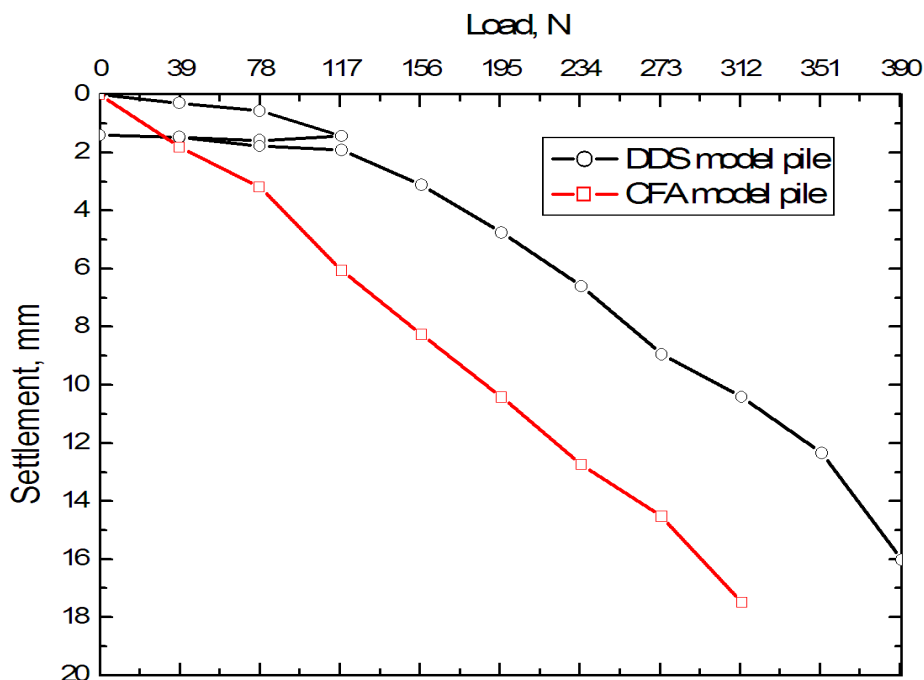


Figure 8. Load – settlement response of the DDS and CFA model piles

4. Conclusion

Based on the results of testing model piles on a volumetric stand, a comparative analysis of the bearing capacities of model piles using DDS and CFA technologies was obtained. At a load of 391 N, the settlement of the DDS model pile was 16.03 mm. The CFA model pile was loaded to 313 N and its settlement was 17.03 mm. The preliminary results showed that the load-bearing capacity of model piles using DDS technology is higher than CFA piles.

5. Acknowledgments and funding

This research has been funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP13268718).

References

1. Bazarbayev D.O., Researching of bored FDP pile in a problematical soil ground // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY (Ph.D.) - Astana: ЕНУ им Л.Н. Гумилева, 2009. – 82с.
2. Rad S.H., Ghareh S., Eslami A. Experimental and field studies on the behavior of drilled displacement piles // Innovative Infrastructure Solutions 6, №188 – Springer Nature Switzerland, 2021. – P. 1-11.doi.org/10.1007/s41062-021-00557-2.
3. Basu P., Prezzi M., Basu D. Drilled Displacement Piles – Current Practice and Design // DFI Journal The Journal of the Deep Foundations Institute . Hawthorne, USA, 2010. – P. 3-20.
4. Issakulov, A., Omarov, A., Zhussupbekov, A., Mussakhanova, S., Issakulov, B. Investigation of the interaction of the bored micro pile by DDS (FDP) technology with the soil ground. International Journal of GEOMATE, Vol. 24, Issue 105, 2023, pp. 11–17.
5. Yergen ASHKEY, Interaction of CFA bored piles with soil condition in Astana // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY (Ph.D.) – Astana.: L.N. Gymileva ENU. -2008. – 52p.
6. Zhussupbekov A., Omarov A., Shakirova N., and Razueva D., Complex analysis of bored piles on LRT construction site in Astana. Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 49, 2020, pp.461–471.
7. A. Zh. Zhusupbekov and Y. Ashkey, T.Zh. Seidmarova, R.K. Bazilov, D.O. Bazarbayev, A.A. Zhusupbekov. “Geotechnical and Geodisaster problems in Kazakhstan”. Proceedings 4th International Conference on Disaster Prevention and Rehabilitation, 2007, (Indonesia, Semarang), 28-40 pp.
8. Zhusupbekov A. Zh., Ashkey Y., Geotekhnicheskij monitoring i razrabotka peredovyyh tekhnologij ustrojstva svajnyh osnovanij zdaniy i sooruzhenij v slozhnyh gruntovyh usloviyah Kazahstana s uchetom trebovanij inzhenerno-geologicheskikh izyskanij. Zaklyuchitel'nyj otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote. NC NTI RK.- Astana, 2007.-62 s.- Inv. №0208RK0039.
9. Decourt, L. Behaviour of a CFA Pile in a Lateric Clay.Proceedings of the 4th International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles // BAP IV. Ghent, Belgium, 1993. - pp. 301-308.
10. A. B. Isakulov, A. Zh. Zhusupbekov, B. R. Isakulov, S. B. Iskakov. Topyrak massivinin DDS tekhnologiyasy bojnynsha ornatyrgan byrgylanyp tolytyrgan qadalarymen ozara arekettesuin zertteu. Vestnik evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N.Gumileva. Seriya tekhnicheskije nauki i tekhnologii, Vol. №4, Issue 141, 2022, pp.19-29.
11. Omarov A., Kuderin M., Zhussupbekov A., Kaliakin N., and Iskakov S., Vibration measurements at a new monument in Nursultan city. International Journal of GEOMATE, Vol. 21, Issue 85, 2021, pp.24–31

DDS және CFA технологиялары бойынша жасалған бұрғыланып толтырылған модельдік микро қадалардың жүк көтергіштігін салыстыру

А.Ж. Жусупбеков¹, Д.В. Чанг², А. Р. Омаров¹, А. Б. Исакулов^{1*}, Д. М. Муканов¹,
А.У. Есентаев¹

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Тамканг университетінің азаматтық құрылыс кафедрасы, Нью-Тайбэй, Тайвань

Аннотация. CFA (үздіксіз әрекет ететін шнек) және DDS (бұрғылау орнын ығыстыру жүйесі) технологияларын пайдалана отырып жасалған бұрғыланып толтырылған қадалары соңғы 15 жылда Қазақстан нарығында салыстырмалы түрде жаңа құрылыс өнімдері болып табылады. Дегенмен бүгінгі таңда аталған технологиялар Астана, Алматы қалаларында және басқа өңірлерді ғимараттар салу кезінде айтарлықтай практикалық құндылыққа ие. Бұл мақалада көлемді стендте Drilled Displacement system (DDS) және Continuous Flight Auger (CFA) технологияларын қолдана отырып жасалған бұрғыланып толтырылған қадаларының модельдік сынақтары ұсынылған. Тестілеу үшін біз 1:20 масштабты қолдандық, қадалардың диаметрі 20 мм, ұзындығы 300 мм. Бұрғылау 3D принтердің көмегімен алдын-ала дайындалған шнектермен жүргізілді. Модельдік қадаларға жүктеме 39 N қадаммен 391 N шекті жүктемеге дейін қолданылды. Зерттеу нәтижелері бойынша DDS және CFA модельдік қадалары үшін «шөгү-жүктеме» графиктері алынды, сондай-ақ осы қадалардың жүк көтергіштігі статикалық сынақ әдісі бойынша салыстырылды. Зерттеу негізінде DDS қадаларының CFA қадаларымен салыстырғанда жүк көтергіштігі жоғары екендігі анықталды. Тұтастай алғанда, зерттеу нәтижелері DDS және CFA қадаларының өнімділігі туралы құнды ақпарат береді, оларды әртүрлі топырақ түрлерінде жобалау мен орнатуды оңтайландыру үшін пайдалануға болады.

Кілт сөздер: масштабталған модельді қада, модельді сынақ, көтергіш қабілеті, статикалық жүктемелік сынақ.

Сравнение несущей способности модельных микросвай с использованием технологий DDS и CFA

А.Ж. Жусупбеков¹, Д.В. Чанг², А. Р. Омаров¹, А. Б. Исакулов^{1*}, Д. М. Муканов¹,
А.У. Есентаев¹

¹Кафедра «Строительство» Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

²Кафедра «Гражданского строительства» Тамкангского университета, Нью-Тайбэй, Тайвань

Аннотация. Буронабивные сваи, установленные с использованием технологий CFA (шнек непрерывного действия) и DDS (система бурового вытеснения), являются относительно новыми строительными продуктами на рынке Казахстана за последние 15 лет, но уже сегодня технология имеет значительную практическую ценность при строительстве городов Астана, Алматы и других регионов. В данной статье представлены модельные испытания буронабивных свай, установленных с использованием технологий Drilled Displacement System (DDS) и Continuous Flight Auger (CFA) на объемном стенде. Для тестирования мы использовали масштаб 1:20, диаметр свай составлял 20 мм, длина - 300 мм. Бурение производилось с помощью шнеков, которые были заранее подготовлены с помощью 3D-принтера. Нагрузка на модельные сваи прикладывалась с шагом 39 Н до предельной нагрузки 391 Н. На основании результатов исследования были получены графики «осадка-нагрузка» для модельных свай DDS и CFA, а также сравнение несущей способности этих свай по статическому испытанию. На основании проведенного исследования было установлено, что сваи DDS обладают хорошей несущей способностью по сравнению со сваями CFA. В целом, результаты исследования предоставляют ценную информацию о эксплуатационных характеристиках свай DDS и CFA, которая может быть использована для оптимизации их конструкции и установки в различных типах грунтов.

Ключевые слова: масштабные модельные испытания, модельные сваи, несущая способность, испытание статической нагрузкой.

References

1. Bazarbayev D.O., Researching of bored FDP pile in a problematical soil ground // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY (Ph.D.) - Астана: ЕНУ им Л.Н. Гумилева, 2009. – 82с.
2. Rad S.H., Ghareh S., Eslami A. Experimental and field studies on the behavior of drilled displacement piles // Innovative Infrastructure Solutions 6, №188 – Springer Nature Switzerland, 2021. – P. 1-11. doi.org/10.1007/s41062-021-00557-2.
3. Basu P., Prezzi M., Basu D. Drilled Displacement Piles – Current Practice and Design // DFI Journal The Journal of the Deep Foundations Institute . Hawthorne, USA, 2010. – P. 3-20.
4. ssakulov, A., Omarov, A., Zhussupbekov, A., Mussakhanova, S., Issakulov, B. Investigation of the interaction of the bored micro pile by DDS (FDP) technology with the soil ground. International Journal of GEOMATE, Vol. 24, Issue 105, 2023, pp. 11–17.
5. Yergen ASHKEY, Interaction of CFA bored piles with soil condition in Astana // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY (Ph.D.) – Astana.: L.N. Gumileva ENU. -2008. – 52p.
6. Zhussupbekov A., Omarov A., Shakirova N., and Razueva D., Complex analysis of bored piles on LRT construction site in Astana. Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 49, 2020, pp.461–471.
7. A. Zh. Zhusupbekov and Y. Ashkey, T.Zh. Seidmarova, R.K. Bazilov, D.O. Bazarbayev, A.A. Zhusupbekov. "Geotechnical and Geodisaster problems in Kazakhstan". Proceedings 4th International Conference on Disaster Prevention and Rehabilitation, 2007, (Indonesia, Semarang), 28-40 pp.
8. Zhusupbekov A. Zh., Ashkey Y., Geotekhnicheskij monitoring i razrabotka peredovykh tekhnologij ustrojstva svajnyh osnovanij zdanij i sooruzhenij v slozhnyh gruntovyh usloviyah Kazahstana s uchetom trebovanij inzhenerno-geologicheskikh izyskanij. Zaklyuchitel'nyj otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote. NC NTI RK.- Astana, 2007.-62 s.- Inv. №0208RK0039.
9. Decourt, L. Behaviour of a CFA Pile in a Lateric Clay.Proceedings of the 4th International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles // BAP IV. Ghent, Belgium, 1993. - pp. 301-308.
10. A. B. Isakulov, A. Zh. Zhusupbekov, B. R. Isakulov, S. B. Isakov. Topyrak massivinin DDS tekhnologiyasy bojnsha ornатыlgan byrgylanyp tolyrylgan қадаларымен озара arekettesuin zertteu. Vestnik evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N.Gumileva. Seriya tekhnicheskije nauki i tekhnologii, Vol. №4, Issue 141, 2022, pp.19-29.
11. Omarov A., Kuderin M., Zhussupbekov A., Kaliakin N., and Isakov S., Vibration measurements at a new monument in Nursultan city. International Journal of GEOMATE, Vol. 21, Issue 85, 2021, pp.24–31

Сведения об авторах:

Рис.:

А.Ж. Жусупбеков – д.т.н., исследователь кафедры «Строительство» ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, +7-701-511-83-82, E-mail: astana-geostroi@mail.ru

Д.В. Чанг – PhD, профессор кафедры «Гражданское строительство» Тамканского университета, E-mail: dwchang@mail.tku.edu.tw

А.Р. Омаров – PhD, Старший преподаватель кафедры «Строительство» Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, +7-707-846-66-22, E-mail: omarov_01@bk.ru

А.Б. Исакулов – докторант кафедры «Строительство» Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, +7-707-327-43-67, E-mail: issakulov.abilkhair@gmail.com

Д.М. Муханов – докторант кафедры «Строительство» Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, +7-747-258-57-70, E-mail: diyar.m.m.98@gmail.com

А.У. Есентаев – докторант кафедры «Строительство» Евразийского национального университета имени Л. Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 13, Астана, Казахстан, +7-776-573-01-01, E-mail: askaryess777@gmail.com

Каз.:

А.Ж. Жусупбеков – т.ғ.д., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының зерттеушісі, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан, +7-701-511-83-82, E-mail: astana-geostroi@mail.ru

Д.В. Чанг – PhD, Тамканг университетінің «Азаматтық құрылыс» кафедрасының профессоры, E-mail: dwchang@mail.tku.edu.tw

А.Р. Омаров – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының аға оқуышысы, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан, +7-707-846-66-22, E-mail: omarov_01@bk.ru

А.Б. Исакұлов – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының докторанты, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан, +7-707-327-43-67, E-mail: issakulov.abilkhair@gmail.com

Д.М. Мұханов – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының докторанты, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан, +7-747-258-57-70, E-mail: diyar.m.m.98@gmail.com

А.У. Есентаев – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының докторанты, Қажымұқан көшесі, 13, Астана, Қазақстан, +7-776-573-01-01, E-mail: askaryess777@gmail.com

Англ.:

A.Zh. Zhussupbekov – Doctor of Technical Sciences, Researcher L.N. Gumilyov ENU Department of «Construction», L.N. Gumilyov ENU Department of «Construction»+7-701-511-83-82, E-mail: astana-geostroi@mail.ru

D.W. Chang – PhD, Professor Tamkang University Department of Civil Engineering, E-mail: dwchang@mail.tku.edu.tw

A.R. Omarov – PhD, Senior Lecturer L.N. Gumilyov ENU Department of «Construction», L.N. Gumilyov ENU Department of «Construction» +7-707-846-66-22, E-mail: omarov_01@bk.ru

A.B. Isakulov – PhD Student of the Department of «Construction», L. N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan str., 13, Astana, Kazakhstan, +7-707-327-43-67, E-mail: issakulov.abilkhair@gmail.com

D.M. Mukhanov – PhD Student L. N. Gumilyov Eurasian National University Department of «Construction», Kazhymukan str., 13, Astana, Kazakhstan, +7-747-258-57-70, E-mail: diyar.m.m.98@gmail.com

A.U. Yessentayev – PhD Student L. N. Gumilyov Eurasian National University Department of «Construction», Kazhymukan str., 13, Astana, Kazakhstan,, +7-776-573-01-01, E-mail: askaryess777@gmail.com

L. Aruova¹, A. Jexembayeva², M. Konkanov³,
L. Zhaksylykova⁴

^{1,2,3,4,5}L.N.Gumilyov Eurasian National University, 010008 Astana, Kazakhstan,
Kazhimukan street 13, r205
e-mail: ecoeducation@mail.ru

New energy-efficient materials for construction

Abstract. Today in the world there is a huge amount of energy-efficient materials and goods, that help solve energy saving issues in the operation of various buildings and structures, such as interior and external load-bearing and enclosing construction of buildings.

Nevertheless, these materials may not always possess the necessary mechanical and physical qualities, nor high strength, to be used in major building's load-bearing sections. Strengthening, decreasing heat conductivity, enhancing weather and moisture resistance, and cutting costs are all critical responsibilities in the development of energy-efficient structures and goods.

As a result of comprehensive research, the authors have developed new cellular concretes with high strength characteristics, low thermal conductivity and low cost based on local raw materials and waste. This approach leads to a significant reduction in energy and resource consumption and promotes the introduction of environmentally friendly production methods while maintaining high product quality standards.

Experiments were conducted in a specially designed laboratory chamber. This installation ensured uniform temperature control inside the chamber, as well as uniform temperature distribution throughout the entire thickness of the products. This was achieved through a rational combination of energy sources used.

The article presents the outcomes of investigations into the mechanical and physical characteristics of foam concrete and the structural features of the material. The manufacturing of superior goods became possible thanks to a combination of mild heat treatment conditions and the exothermic properties of cement. In addition, the impact of additional electrical energy at a minimum consumption (10-20 kWh/m³) on the hardening process of foam concrete is characterized by a periodic and short-term effect. In contrast, traditional heat treatment methods require significantly higher energy consumption - from 80 to 100 kWh/m³.

The results of X-ray and electron microscopy studies confirmed that the developed energy-efficient materials have high physical and mechanical properties and low cost.

Keywords: Concrete, Heat Transfer, Thermal Insulation, Porosity, Temperature, Hardening, Heating, Thermal Conductivity, Air Conditioning, Energy Conservation

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-175-187

Introduction

The search for new energy sources ranks among the most pressing global challenges today. Traditional energy sources, such as oil and gas, are considered indispensable. However, the simplest and cheapest source of energy nowadays is solar energy. Numerous studies are now being conducted within the Kazakhstani Republic to examine different strategies for utilizing solar energy in the heat treatment procedures of concrete product and structure production facilities. For the first time, the authors applied a new method of bilateral use of solar and electric energy for foam concrete products.

The traditional foam concrete manufacturing technology involves energy-consuming heat treatment in autoclaves or steaming chambers utilizing conventional energy sources. The innovative technique makes use of both electrical and solar power.

When there is a high number of bright, warm days throughout the year, along with favorable solar radiation and weather, it is possible to use existing solar technology for the manufacturing of foam concrete. For instance, the long, hot summers in Kazakhstan's southern areas are distinguished by consistently high outdoor temperatures of over 35 °C and low humidity levels of less than 28%. The current climate and weather conditions are perfect for installing solar fields, which will be utilized to make foam concrete products. Additionally, the data indicates that, in addition to Kazakhstan, the southern regions of the Russian Federation and a number of Central Asian republics, including Uzbekistan, Tajikistan, Turkmenistan, and Kyrgyzstan, also have good weather during warm and hot seasons for the field production of foam concrete products using solar technology. Therefore, there is great potential for replacing conventional energy sources with solar radiation in the vast geographic areas where weather and climate conditions allow the manufacture of foam concrete using solar energy. [1].

The literature review reveals that the entirety of known research and development endeavors within the construction industry related to solar technology have predominantly focused regarding the standard concrete's heat treatment [2,3,4,5,6,7,8,9]. There hasn't been any thorough investigation on the utilization of solar energy to produce foam concrete, which is a very successful building material.

Foam concrete differs greatly from traditional concrete in a number of areas, such as production process, composition of raw materials, rheological qualities, porous structure, and other essential features [8,9]. As a result, the approved helio-thermal treatment techniques that were created for conventional concrete cannot be used in the manufacturing process of foam concrete.

When creating structures and goods made of foam concrete, the utilization of thermal energy to expedite the hardening process is essential, leading to a notable increase in energy consumption during manufacturing.

As a result, an increasing number of foam concrete manufacturers are gradually reducing their reliance on heat treatment. However, in order to meet the requirements for properties of constructions and manufactured goods, without resorting to heat treatment, manufacturers are forced to resort to higher consumption of binders, employ superior grades of cement, and incorporate specialized additives that accelerate the hardening process. In addition, the prolonged curing time required for concrete to harden within metal forms necessitates the allocation of substantial areas for the hardening of products and structures.

Previously, the authors had exclusively applied two-way heat treatment to conventional concrete, yielding positive outcomes. Nevertheless, a novel approach has been introduced for the first time, which involves dual-sided heat treatment by combining the utilization of both solar and electric energy, precisely customized to foam concrete products.

According to [10], "with a two-way supply of heat to the hardening concrete, the greatest uniformity of moisture distribution is observed and thus, as a result, a uniform distribution of strength is achieved". Based on this, it is advised to carefully combine extra electrical energy with solar energy in order to improve the foam concrete products' ability to solidify in fields and to provide uniform product heating while reducing temperature gradients. This supplementary electrical energy may exert a periodic and short-term influence on the concrete hardening process.

Based on the aforementioned, as a result of comprehensive research, the authors have developed a novel method for accelerating the hardening of foam concrete, which enables the application of the solar heating of products under soft conditions coupled with the use of traditional energy sources, specifically electricity. This approach enables a substantial reduction in energy costs for expediting the hardening, and facilitates the organization of environmentally friendly production while maintaining the high quality of products.

The objective of the paper was to develop a method and technology for the production of foam concrete products at landfills situated in regions by dry and hot climates. This was accomplished by leveraging solar radiation, with natural intensity, to expedite the hardening

process, along with incorporating an additional electrical energy source, based on research and the generalization of existing knowledge.

To achieve this goal, the following tasks were addressed: establishing the correlation between the strength characteristics of foam concrete products and the length of time that solar radiation is exposed to during solar thermal treatment; investigating the connection between the amount of solar energy that enters the system and the type of temperature field development that occurs in solar-heated goods with varying thicknesses and surface areas; investigating the structural characteristics and physical-mechanical attributes of aerated concretes that have been heated by the sun.

Finally, it can be concluded that the all-encompassing method of using additional electrical energy in conjunction with heat treatment and solar radiation to quickly harden foam concrete products inside metal forms with helio-coating lids is a novel way to accelerate the process. This technology combines the natural exothermic capabilities of cement with moderate heat treatment techniques to enable the fabrication of high-quality products. Additionally, the effects of using more electrical energy at the lowest possible energy consumption (8–18 kWh/m³), Concrete shows a periodic and transient nature on the hardening foam. However, the amount of electrical energy required for heat treatment using traditional methods is significantly higher, ranging from 75 to 100 kWh/m³.

The results of X-ray and electron microscopic studies confirm that a favorable humid environment for hardening and a mild temperature regime for thermal solar treatment of goods contribute to the formation of a high-quality structure and increased the mechanical and physical characteristics of foam concrete.

Research methods

Experimental studies were conducted in the summer weather conditions in Kyzylorda, the Republic of Kazakhstan. These experiments focused on factory compositions of foam concrete wall products D700 (B2) that meet the requirements of GOST 25485 (State standard) "Cellular concrete. Technical conditions". The composition utilized included cement from the Dzhambul'sky plant PC400-D20, quartz sand with size of $M_{size}=1.2$ (fraction of sand) and the LASTON foaming agent (made in Italy).

Fig.1 The laboratory apparatus utilized for the studies is depicted in 1; it has an electric heating element at the mold's base and a cover with helio coating. A sensible mix of solar, exothermic, and electric energy produces both homogeneous temperature fields across the thickness of the products and stable temperature conditions inside the chamber.



Fig.1 Apparatus for the laboratory with an electric mold heater and heliocoat

The bottom of metal forms undergoes cyclical electric heating based on the temperature specified by the thermal sensor; this means that the heating effect on the concrete hardening process is short-term and periodic.

Upon filling with a foam concrete mixture, cassette forms are immediately placed in a thermal chamber and kept at a temperature of 28-36°C for three to four hours. The lid of the chamber is hermetically sealed with helio-coating material.

When the concrete achieves 360–590 gr/cm², which is the plastic strength value needed for heat treatment, the forms containing the goods are moved into an open solar field. The heating of products in solar forms should start no later than 10 a.m. in order to guarantee a full production cycle and sensible use of solar energy during the day. In addition, the helio-chamber's temperature rises at a rate of 7-8°C per hour for five to six hours. This is followed by isothermal heating for three to four hours at a temperature of 61 to 65°C. The foam concrete products are then progressively cooled in the evening and at night until they are 32±5°C in temperature.

The newly created technology yielded data that showed that foam concrete products acquired a strength of 45 to 55% of their predetermined strength during the 20–22 hour solar thermal treatment, depending on the bulk density.

Using samples of comparable composition and age that underwent varying techniques and hardening circumstances, an analysis of the mechanical and physical characteristics of foam concrete was conducted [11,12,13].

The kinetics of foam concrete heating during solar thermal treatment were studied using a 4-channel temperature control device called "Thermodat-17M5".

Based on the aforementioned findings, to cut down on energy consumption for heat treatment and justify environmentally friendly production process, a novel method for accelerating the hardening of foam concrete has been developed. This new method ensures that solar heating of products is completed by combining a conventional energy source—electricity—with soft modes.

It is possible to produce foam concrete products with solar energy to speed up the hardening process when the weather and solar radiation are right. The year-round availability of bright, warm days characterizes these settings. For instance, the southern parts of Kazakhstan have a long, hot summer with constant outdoor temperatures between 33 and 43 degrees Celsius and more than 6 kWh/m² of solar radiation. Such meteorological and climatic circumstances offer a strong basis for setting up solar fields for the manufacturing of foam concrete goods.

Based on data from [14,15,16], in addition to Kazakhstan, other regions with favorable climates for field production of foam concrete products using solar technology during the warm and hot seasons include the southern regions of the Russian Federation and some Central Asian republics, including Uzbekistan, Tajikistan, Turkmenistan, and Kyrgyzstan. Considering the large number of places with ideal weather and climate, using solar energy in foam concrete production as an alternative to traditional energy sources, holds promising potential.

Results and Discussion

The heating dynamics of foam concrete products with dimensions 200x200x400 cm in accordance with the ambient temperature can be seen in Fig. 2. Analysis of the graph showed that heating occurred smoothly and gently until the maximum temperature in the concrete was reached at 60-65 degrees and the holding lasted up to 10 hours.

Subsequently, there was a period of conditional isothermal exposure lasting 3-4 hours. Following this, during the evening and nighttime hours, there was a gradual decrease in temperature, decreasing at a rate of 4-5°C per hour until it reached 33-35°C [17].

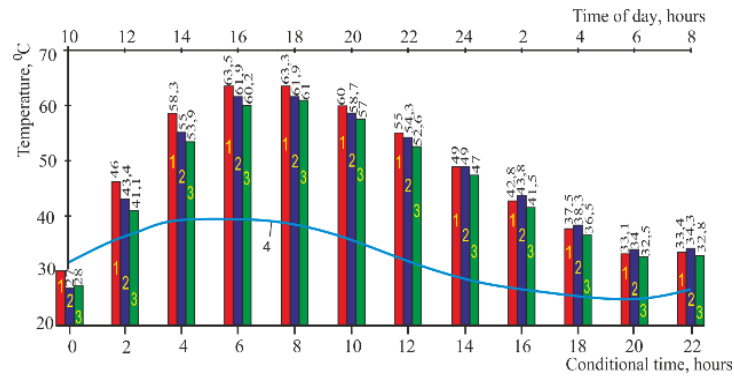


Fig.2 The process of heating blocks at natural air temperature: temperature change by 18-22 mm in the upper parts of the product (1); temperature changes by 90-110 mm in the upper parts of the product (2); temperature changes of 170-190 mm in product covers (3); air temperature (4)

It should be noted that when measuring temperature gradients in building blocks, the maximum jump was 65 degrees. However, temperature changes in the central and lower parts of the products were slightly lower than 63 and 59 degrees. The process of temperature changes occurs smoothly with a temperature difference of 4-6 degrees. Thus, in the morning, while the temperature on the concrete product's surface ranged from 32-33°C, its centre maintained a temperature of 34-35°C. This is primarily due to the low thermal conductivity of foam concrete, which in the retention of heat for an extended duration.

The results of the experiment demonstrate that this **hardening of building products when exposed to solar radiation subsequently has a great positive effect on their structure and basic technical properties.**

The dynamics of growth in compressive strength of foam concrete according to hardening conditions is shown in Table 1 and Fig. 3. Maturity level of the foam concrete subjected to solar and heat treatment (3) is 1023 degrees/hour, with achieved strength value of 1.6 MPa in one day, i.e., 55% of the grade (B2). Furthermore, after 28 days of hardening, the strength of concrete (3) significantly superior than the strength of samples that hardened at 21 degrees (1) by approximately 51%. The remaining strength of the concrete of normal hardening (1) is attained within 6 months.

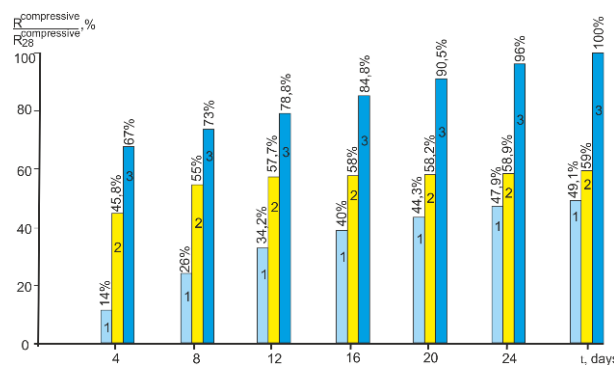


Fig.3 The graph of the change in time of foam concrete compressive strength, depending on the hardening conditions. 1 - normal hardening; 2 - aging foam without a care in natural conditions; 3 – new thermal method with the use of a solar cover with electric form heating

New energy-efficient materials for construction of excellent quality have been obtained. The authors have developed a new energy-efficient method for producing high-quality building products. New achievements allows production of high-quality products by capitalizing on the soft heat treatment modes and exothermic properties of cement. In addition, the influence of the minimal consumption of additional electrical energy (10-20 kWh/m³) on foam concrete hardening is periodic and of short duration. In contrast, the traditional methods of heat treatment often require electrical energy consumption up to 80-100 kWh/m³ [18].

Structural features of foam concrete hardened under different conditions were investigated. **X-ray diffraction studies of materials were carried out using a diffractometer X-PertPRO. Phase analysis using the powder method was used in preparing the experiments [4].** Tables 2,3,4,5 and Figure 4, and 5,6,7 show the results of X-ray examination of foam concrete samples with similar compositions but solidified under different conditions.

Foam concrete is represented by three samples: complex solar thermal treatment (1), heat treatment in a steaming chamber (2), normal hardening (3).

Table 1. Change in time of compressive strength of D700, B2 foam concrete depending on hardening conditions

Concrete Care Method	Concrete compressive strength				
	<i>MPa</i>				
	(%) in age, days.				
	1	3	7	14	28
Normal hardening	<u>0.09</u> 3	<u>0.29</u> 10	<u>0.67</u> 23	<u>1.09</u> 37.5	<u>1.43</u> 49.5
Maintaining foam concrete without care in natural conditions	<u>0.65</u> 22.5	<u>1.17</u> 40.3	<u>1.54</u> 53	<u>1.67</u> 57.5	<u>1.71</u> 59
Solar thermal treatment using a solar cover and a heated mold bottom	<u>1.60</u> 55	<u>1.89</u> 65	<u>2.09</u> 72	<u>2.38</u> 82	<u>2.91</u> 100.5

Table 2. Apparatus and methods

Number of identified phase	ID card number	Description of the phase by chemical formula	Isolated phase, in%
1	01-086-0402	Ca ₃ SiO ₅	26
2	01-089-6427	Na(AlSi ₃ O ₈)	28
3	01-083-0539	SiO ₂	46

Table 3. Results of semi-quantitative phase analysis of a foam concrete sample subjected to complex solar thermal treatment

Number of identified phase	ID card number	Description of the phase by chemical formula	Isolated phase, in%
1	01-087-2096	SiO ₂	57
2	01-086-2339	Ca(CO ₃)	18
3	01-088-2111	AlO(OH)	2
4	00-030-0665	Fe ₂ Si ₄	24

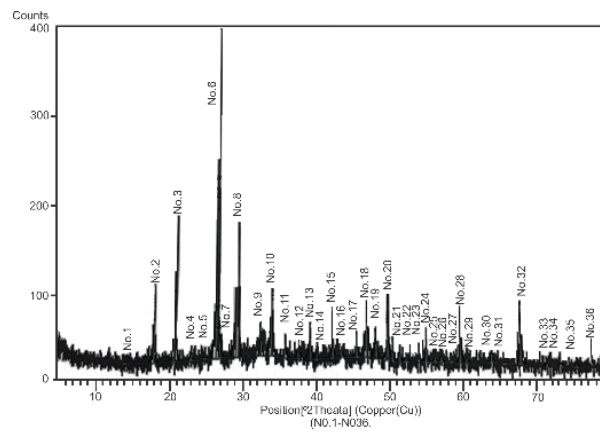


Figure 4. X-ray diffraction pattern of a foam concrete sample subjected to complex solar thermal treatment

Table 4. Table 4. Phase analysis of foam concrete samples from heat treatment in a steam chamber

Number of identified phase	ID card number	Description of the phase by chemical formula	Isolated phase, in%
1	01-085-0794	SiO ₂	44
2	01-086-2339	Ca(CO)	21
3	01-074-1684	Mg ₂ SiO ₄	16
4	01-089-1304	(Mg _{0.03} Ca _{0.97})(CO ₃)	18

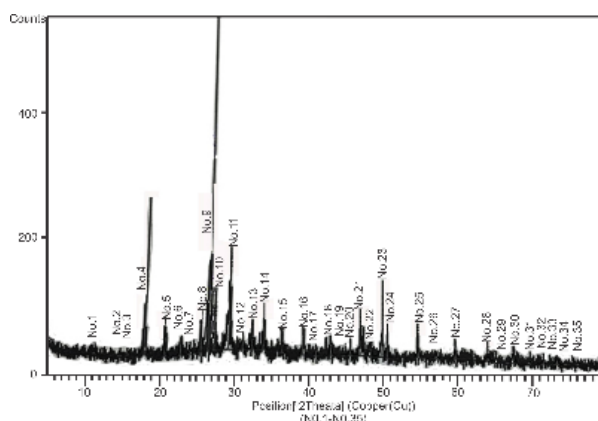


Figure 5. X-ray diffraction pattern of a foam concrete sample subjected to heat treatment in a steaming chamber

Table 5. Phase analysis of foam concrete samples from normal hardening

Number of identified phase	ID card number	Description of the phase by chemical formula	Isolated phase, in%
1	01-085-0795	SiO ₂	17
2	01-073-0599	Ca ₃ (SiO ₄)O	23
3	01-070-1433	MgCO ₃ (H ₂ O) ₃	12
4	01-083-1612	Na(AlSi ₃ O ₈)	32
5	01-086-0402	Ca ₃ SiO ₅	21

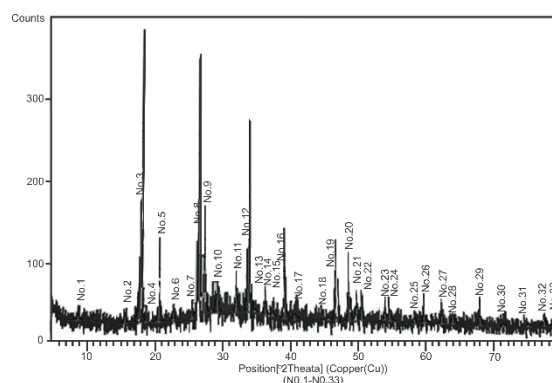


Figure 6. X-ray diffraction pattern of a sample of foam concrete of normal hardening.

Upon analyzing the data of X-ray phase analysis, it can be noted, first of all, the percentage of silicon dioxide for each of the hardening methods 1, 2 and 3. For 1 it is SiO₂ = 57%, for 2 it is SiO₂ = 44%, for 3 it is SiO₂ = 16%. These percentages may indicate one of the characteristics regarding the depth of interaction between the cement slurry and the filler sand for each of the three samples. **From these observations, one can infer that there is a deeper interaction of SiO₂ with the solution during normal hardening, followed by decreasing orders of interaction.**

It is important to note that in sample 1 the percentage of calcites Ca(CO₃) is 18%, while in sample 2, it is 21% and a compound denoted as (Mg0.03 Ca0.97) (CO₃) is 18%. In contrast, in foam concrete subjected to normal hardening, crystalline state MgCO₃ (H₂O)₃ is detected at 11%.

The presence of magnesium silicate ($\text{Mg}_2\text{SiO}_4 = 16\%$) characterizes of foam concrete hardened in the steaming chamber and under normal conditions, and for foam concrete hardened in the solar chamber – calcium silicates $\text{Ca}_3(\text{SiO}_4)\text{O}$ at 22%, Ca_3SiO_5 at 20% and sodium aluminosilicate $\text{Na}(\text{AlSi}_3\text{O}_8)$ at 20% are noted. These results align with existing knowledge about phase formation processes during concrete hardening under various thermal conditions. The impact of the protein foaming agent and superplasticizer does not affect the phase-mineralogical crystalline composition. It is more likely that organic compounds form amorphous composites, which are not visible in the diffraction patterns of X-ray diffraction patterns.

Electron-microscopic studies were conducted on a JEOL JSM-6490 LA scanning electron microscope-microanalyzer. **Preparations were made according to the standard procedure. The voltage at the anode was 7 kV. Over 100 areas were examined, with the most typical ones selected. Direct inspection of the surface allowed us to see microstructure of the material using scanning electron microscopy at magnifications from x2000 to 5000 times (Figure 7).**

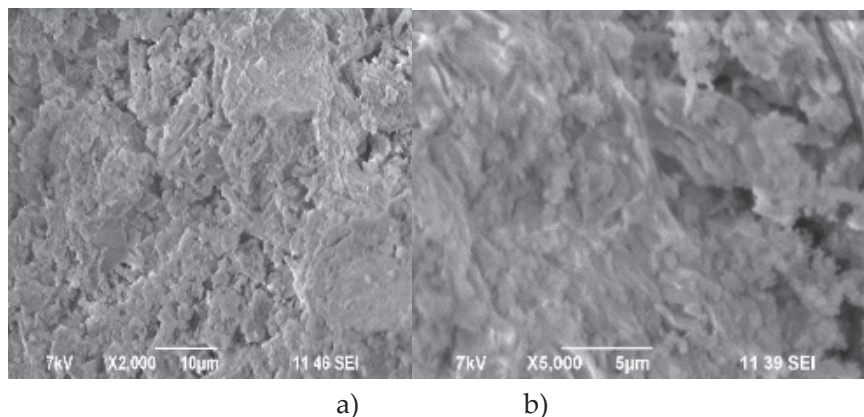


Figure 7. Morphology of foam concrete samples subjected to complex solar thermal treatment: a) x2000; b) x5000

The morphology of the examined foam concrete samples reveals dendrite-like aggregates of flat sintered particles. It is evident that these structures are compositionally homogeneous, especially in the basal directions.

Differences in phase-mineralogical composition depend on the method and conditions of hardening. The soft process of normal hardening broadens the spectrum of phases, while the more rigorous process reduces their number.

Thus, the results of X-ray and electron microscopic studies confirm that a favorable humidity environment for hardening and a mild temperature regime contribute to the production of energy-efficient concrete.

Conclusions

Thus, to control production, a system for operational control of the parameters of new energy-efficient materials was developed. The developed system includes strength growth graphs, temperature control during the melting process and non-destructive testing upon completion of the process of obtaining new materials.

The operation of solar sites in Central Asia for the production of new energy-efficient materials lasts more than 8 months a year, approximately from March to October. To obtain environmentally friendly, cheap, energy-efficient materials, the air temperature must be above $+20^\circ\text{C}$.

Research has shown that in order to obtain new energy-efficient materials, it is necessary to increase strength indicators due to optimal combinations of the exothermic properties of cement in concrete and smooth heating and cooling modes [19,20,21].

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR18574214).

References

1. Pattaranan Hanma, Sarawut Thepanondh, Chutarat Chompunth, Suphaphat Kwonpongsagoon, Lalidaporn Panya, Nuttakit Sukjit Extent and magnitude of industrial stack emissions on ambient particulate concentrations international. *Journal of GEOMATE*, Aug., 2021, Vol.21, Issue 84, pp.202-209 ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2021.84.j2189>
2. Namsone E., Sahmenko G., Korjakins A. Durability Properties of High Performance Foamed Concrete. *Procedia Engineering*. 2017. 172. Pp. 760–767. Doi: 10.1016/j.proeng.2017.02.120.
3. Muthu Kumar E., Ramamurthy K. Effect of fineness and dosage of aluminium powder on the properties of moist-cured aerated concrete. *Construction and Building Materials*, 2015. 95. Pp. 486–496. Doi: 10.1016/j.conbuildmat.2015.07.122.
4. Aruova L., Dauzhanov N. Energy and resource saving technologies of building materials production using solar energy. *MOJ Civil Engineering*. 2017. 3(3). Pp. 287-292. Doi: 10.15406/mojce.2017.03.00068.
5. Aruova L., Dauzhanov N., Utkelbaeva A., Shashpan Sh. Innovative Technologies for Producing Foam Concrete Products Using Solar Energy. *International Journal of Engineering and Technology (UAE)*. 2018. Vol. 7. Pp. 36–41. Doi: 10.14419/ijet.v7i4.7.20376.
6. Aruova L. B., Aruov A. B., Shashpan Zh. A. Manufacturing arbolitic building products using solar energy. *Journal of Mechanical Engineering Research and Developments*. 2018. Vol. 41. Pp. 49–55. Doi: 10.26480/jmerd.02.2018.49.55.
7. Pinsker, B. A. State and problems of production and use of cellular concrete. *Proceedings in E3S Web of Conferences*. 2019. Vol. 116. P. 8, [Online]. URL: https://www.e3s-conferences.org/articles/e3sconf/ref/2019/42/e3sconf_asee18_00092/e3sconf_asee18_00092.html. (date of application: 03.10.2016).
8. Falikman V.R., Gusev B.V. Structural Concrete In The Age Of Sustainable Development. *ACI Symposium Publication*. 2015. Vol. 305. Pp. 36.1-36.12. URL: <https://www.concrete.org/publications/internationalconcreteabstractsportal/m/details/id/51688596> (date of application: 01.09.2015).
9. Ali Basrah Pulungan, Lovely Son Syafii, Syamsul Huda, Ubaidillah Ubaidillah Improvement of a solar panel tracking system using additional mass position adjustment. *International Journal of GEOMATE*, Oct., 2021, Vol.21, Issue 86, pp.92-99 ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2021.86.j2293>
8. Hu C., Li H., Liu Z., Wang Q. Research on properties of foamed concrete reinforced with small sized glazed hollow beads. *Advances in Materials Science and Engineering*. 2016. art. no. 5820870. Pp. 1-8. doi: 10.1155/2016/5820870
9. Sathya Narayanan J., Ramamurthy K. Development of solid, foam concrete interlocking blocks and studies on short masonry specimens. *Masonry International*. 2013.26 (1). Pp. 7-16.
10. Kearsley E.P., Wainwright P.J. Ash content for optimum strength of foamed concrete. *Cement and Concrete Research*. 2002. 32(2). Accessed: Aug. 23, 2020. Pp. 241-246. [Online]. Available: <https://elibrary.ru/item.asp?id=910534>.
11. Vu K.D., Bazhenova S.I. Modeling the influence of input factors on foam concrete properties. *Magazine of Civil Engineering*. 2021. 103(3). Article No. 10311. Pp.131-140. DOI: 10.34910/MCE.103.11
12. Nikolsky S.G., Pertseva O.N., Ivanova V.I. Substantiation of the express method for determining the frost resistance of porous materials. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. No. 8 (60). S. 7-19. DOI: 10.5862 / MCE.60.2.
13. Krutilin A.B., Rykhlenok Yu.A., Leshkevich V.V. Thermophysical characteristics of low-density autoclaved cellular concrete and their influence on the durability of the outer walls of buildings. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. No. 2 (54). S. 46-55. DOI: 10.5862 / MCE.54.5.
14. Mugahed Amran, Y. H. Structural Performance of Precast Foamed Concrete Sandwich Panel Subjected to Axial Load. *KSCCE Journal of Civil Engineering*, 2018. 22(4). Pp. 1179–1192. Doi: 10.1007/s12205-017-1711-6.
15. Aruova L., Dauzhanov N., Comprehensive heat treatment using solar energy to produce high quality foam concrete. *Proceedings International Conference on Advances in Energy Systems and Environmental Engineering (ASEE19)*. 2019.116(00092). Pp.1-8. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/201911600092>
16. Aruova L., Dauzhanov N. Innovative Technologies For Producing Foam Concrete Products Using Solar Energy, *International Journal of Engineering & Technology*. 2018. N7 (4.1). Pp.36-41.

Website: www.sciencepubco.com/index.php/IJET. Scopus.com <https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=8953635700>

17. Thuy Bich Thi Nguyen¹, Anh Kiet Bui¹, Trong Phuoc Nguyen, Somnuk Tangtermsirikul Influence of initial temperature of fresh concrete on compressive strength of concrete. International Journal of GEOMATE, April 2023, Vol.24, Issue 104, pp.11-18. ISSN: 2186-2982 (P), 2186-2990 (O), Japan, DOI: <https://doi.org/10.21660/2023.104.3291>

18. Aruova L., Dauzhanov N. Process Parameters of Production of Non-Autoclaved Aerated Concrete on the Basis of Complex Use of Ash and Gypsum-Containing Wastes. Mediterranean Journal of Social Sciences, Accessed: Aug. 23, 2020. Pp.2565-2571. DOI:10.5901/mjss.2014.v5n23p2565

19. Cease M.E., White D.H. Emulsification of thermal energy storage materials in an immiscible fluid. International Journal of Energy Research, 1983. 7 (2). Pp. 109-119. doi: 10.1002/er.4440070203

20. Shoib Bashir Wani, Junaid ahmed Influence of Bi-directional Fibreglass Grid Reinforcement on Drying Shrinkage and Mechanical Properties of Lightweight Foamed Concrete. International Journal of Engineering. 2020. 34(1). Pp. 10-18. doi: 10.5829/ije.2021.34.01a.02

21. Ivanov A.N., Trembitsky M.A. Foam concrete of a given average density for warming attic floors // Magazine of Civil Engineering. 2011. No. 8 (26). P. 19-24. DOI: 10.5862 / MCE.26.3.

Новые энергоэффективные материалы для строительства

Л.Б. Аруова¹, А.Е. Джekсембаева², М.Д. Конканов³, Л.А. Жаксылыкова⁴

^{1,2,3,4,5} Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан
e-mail: ecoeducation@mail.ru

Аннотация. Существование огромного количества энергоэффективных, экологически чистых материалов среди которых различные конструкции зданий общеизвестно. И эти энергоэффективные материалы позволяют решать вопросы энергосбережения в общественных и жилых зданиях. К новым материалам сегодня в первую очередь предъявляются требования по энергоэффективности, экологической безопасности и недорогой стоимости. Поэтому ученые в своих исследованиях ставят на первое место усиление прочности, низкую теплопроводность, увеличение атмосферостойкости и влагостойкости и низкую стоимость материалов.

В результате комплексных исследований авторами разработан новые ячеистые бетоны, обладающие высокими прочностными характеристиками, низкой теплопроводностью и невысокой стоимостью на основе местного сырья и отходов. Такой подход приводит к существенному снижению энерго и ресурсопотребления и способствует внедрению экологически безопасных методов производства при соблюдении высоких стандартов качества продукции.

Экспериментальные исследования проводились в специально спроектированной лабораторной камере. Такая установка обеспечивала равномерный контроль температуры внутри камеры, а также равномерное распределение температуры по всей толщине изделий. Это было достигнуто за счет рационального сочетания используемых источников энергии.

В статье представлены результаты исследований физико-механических свойств пенобетонов и структурных особенностей материала. Получение высококачественной продукции стало возможным благодаря сочетанию мягких режимов термообработки и экзотермических свойств цемента. Кроме того, воздействие дополнительной электрической энергии при минимальном расходе (10-20 кВтч/м³) на процесс твердения пенобетона характеризуется периодическим и кратковременным эффектом. Напротив, традиционные методы термообработки требуют значительно большего расхода электроэнергии – от 80 до 100 кВтч/м³.

Результаты рентгено- и электронно-микроскопических исследований подтвердили, что разработанные энергоэффективные материалы обладают высокими физико-механическими свойствами и невысокой стоимостью.

Ключевые слова: бетон, теплопередача, теплоизоляция, пористость, температура, нагрев, теплопроводность, кондиционирование воздуха, температура, энергосбережение

Құрылысқа арналған жаңа, энергия үнемдейтін материалдар

Л.Б. Аруова¹, А.Е. Джексембаева², М.Д. Конканов³, Л.А. Жаксылыкова⁴
^{1,2,3,4,5} Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан
e-mail: ecoeducation@mail.ru

Аңдатпа. Бүгінгі таңда әлемде әртүрлі ғимараттар мен құрылыстарды пайдалану кезінде энергияны үнемдеу мәселелерін шешуге мүмкіндік беретін, ғимараттардың ішкі және сыртқы жүк көтергіш және қоршау конструкцияларын қоса алғанда, энергия үнемдейтін материалдар мен бұйымдардың орасан көп мөлшері бар. Дегенмен, мұндай материалдар әрқашан жоғары беріктікке, сондай-ақ үлкен ғимараттың жүк көтергіш бөліктерінде қолдануға арналған физикалық және механикалық қасиеттерге ие бола бермейді. Осыған байланысты энергияны үнемдейтін құрылымдар мен бұйымдарды әзірлеудің өзекті міндеттері беріктігін арттыру, жылу өткізгіштігін төмендету, ауа-райына төзімділік пен ылғалға төзімділікті арттыру, сонымен қатар өзіндік құнын төмендету болып табылады.

Жан-жақты зерттеулердің нәтижесінде авторлар жергілікті шикізат пен қалдықтар негізінде беріктігі жоғары, жылу өткізгіштігі төмен және құны төмен жаңа ұяшықты бетондарды жасады. Бұл тәсіл энергия мен ресурстарды тұтынудың айтарлықтай төмендеуіне әкеледі және өнім сапасының жоғары стандарттарын сақтай отырып, экологиялық таза өндіріс әдістерін енгізуге ықпал етеді.

Эксперименттік зерттеулер арнайы жасалған зертханалық камерада жүргізілді. Бұл қондырғы камераның ішіндегі температураны біркелкі бақылауды, сондай-ақ өнімнің бүкіл қалыңдығы бойынша температураның біркелкі таралуын қамтамасыз етті. Бұған пайдаланылған энергия көздерін ұтымды біріктіру арқылы қол жеткізілді.

Мақалада көбік бетонының физикалық-механикалық қасиеттерін және материалдың құрылымдық ерекшеліктерін зерттеу нәтижелері берілген. Жоғары сапалы өнімдерді өндіру жұмсақ термиялық өңдеу жағдайлары мен цементтің экзотермиялық қасиеттерінің үйлесімі арқасында мүмкін болды. Сонымен қатар, минималды тұтыну кезінде (10-20 кВт/м³) қосымша электр энергиясының көбік бетонның қатаю процесіне әсері мерзімді және қысқа мерзімді әсермен сипатталады. Керісінше, дәстүрлі термиялық өңдеу әдістері айтарлықтай жоғары энергия тұтынуды талап етеді - 80-ден 100 кВтсағ/м³ дейін.

Рентгендік және электронды микроскопиялық зерттеулердің нәтижелері әзірленген энергияны үнемдейтін материалдардың физикалық-механикалық қасиеттері жоғары және құны төмен екенін растады.

Түйін сөздер: Бетон, жылу өткізгіштік, жылу оқшаулау, кеуектілік, температура, жылу өткізгіштік, ауаны баптау, энергияны үнемдеу

Сведения об авторах:

Рус.:

Джексембаева А.Е. – доктор PhD ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана 13, к205

Конканов М.Д. – доктор PhD ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана 13, к205

Аруова Л.Б. – доктор технических наук, профессор кафедры “Технология промышленного и гражданского строительства” ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана 13, к205

Жаксылыкова Л.А. – магистр технических наук” ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана 13, к205

Каз.:

Джексембаева А.Е. – доктор PhD ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана 13, к205

Конканов М.Д. – доктор PhD ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана 13, к205

Аруова Л.Б. – доктор технических наук, профессор кафедры “Технология промышленного и гражданского строительства” ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана 13, к205

Жаксылыкова Л.А. – магистр технических наук” ЕНУ имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана 13, к205

АНГ.:

Jexembayeva Assel – Doctor of PHD ENU named after L.N. Gumilyov, Kazhimukan str. 13, k205

Konkanov M.D. – Doctor of PHD ENU named after L.N. Gumilyov, Kazhimukan str. 13, k205

Aruova L.B. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of “Technology of Industrial and Civil Construction” ENU named after L.N. Gumilyov, Kazhimukan St. 13, k205

Zhaksylykova L.A. – Master of Technical Sciences” ENU named after L.N. Gumilyov, Kazhimukan str. 13, k205

¹А.С. Даньярова, ¹Б.Б. Тогизбаева, ¹К.Г. Балабеков, ¹А.Б. Кенесбек

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан ^{E-}

mail d__b@bk.ru, togizbayeva_bb@enu.kz, balabekova_kg@enu.kz, kenesbek_ab_1@enu.kz

Выбор метода расчета усилий копания и нагрузок, действующих на элементы рабочего оборудования гидравлического экскаватора

Аннотация. Известно, что гидравлические экскаваторы — это многофункциональные землеройные машины, состоящие из стрелы, рукояти и ковша.

Экскаватор работает по принципу гидравлической жидкости с гидроцилиндром и гидромоторами. Важно отметить, что эксплуатация гидравлическим экскаватором требует скоординированного перемещения стрелы, рукояти и ковша для управления положением кончика ковша по желаемой траектории. Тем самым, способствует эффективному использованию машины в темное время суток, в наихудших условиях труда, в суровую погоду, в опасной или нездоровой окружающей среде, и даже на территориях стихийных бедствий.

Управление гидравлическим экскаватором возможно при условии понимания кинематики и динамики экскаваторной машины. Для достижения этой цели в данной статье приведены различные методы расчета, связанные с кинематикой экскаваторной машины, которые полезны при выполнении его кинематического моделирования. Что в свою очередь способствует пониманию поведения и улучшения эксплуатационных характеристик гидравлического экскаватора.

Ключевые слова: экскаватор, кинематика, стрела, ковш, рукоять, моделирование.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-188-203

1. Введение

В настоящее время существуют основные задачи, направленные на повышение качества и эффективности машин, надежности оборудования и различной техники в области машиностроения. Эти цели также включают в себя снижение потребления ресурсов (материалов и энергии) и повышение производительности труда. [1]

Гидравлический экскаватор содержит ряд взаимосвязанных гидромеханических компонентов, которые имеют: двигатель, представленный гидроцилиндром, а также рычажно-гидравлическую систему. Эти компоненты включают в себя элементы рабочего оборудования, такие как стрела, рычаг или ковш, а также цилиндр и поршень со штоком. В результате основными задействованными механизмами являются рычажные системы. [2]

Кинематическая взаимосвязь между двигателем и элементами рычажно-гидравлической системы обуславливают уникальные кинематические характеристики этого механизма, которые варьируются в зависимости от положения двигателя (цилиндра)

по отношению к другим компонентам системы. Определение кинематических свойств рычажно-гидравлического механизма является основной задачей кинематического анализа. Другими словами, это включает в себя определение закономерностей, управляющих развитием кинематических параметров, таких как угловые скорости приводимых в движение компонентов (таких как стрела, рычаг и ковш) и скорости конкретных точек внутри компонентов системы. [2]

2. Методы расчета конструктивных и эксплуатационных параметров экскаватора

На металлоемкость и эффективность экскаваторов существенное влияние оказывают технические характеристики их рабочих компонентов. Линейные размеры как стрелы, так и рукояти определяются исходя из назначенной рабочей зоны, где ковш предназначен для заполнения материалами и последующей выгрузки в транспортное средство. Важно не только определить его профиль и размер, но и рассчитать требуемое усилие копания. Кроме того, при выборе размеров стрелы, рукояти и ковша необходимо учитывать максимальные усилия, которым будут подвергаться все эти элементы. [3]

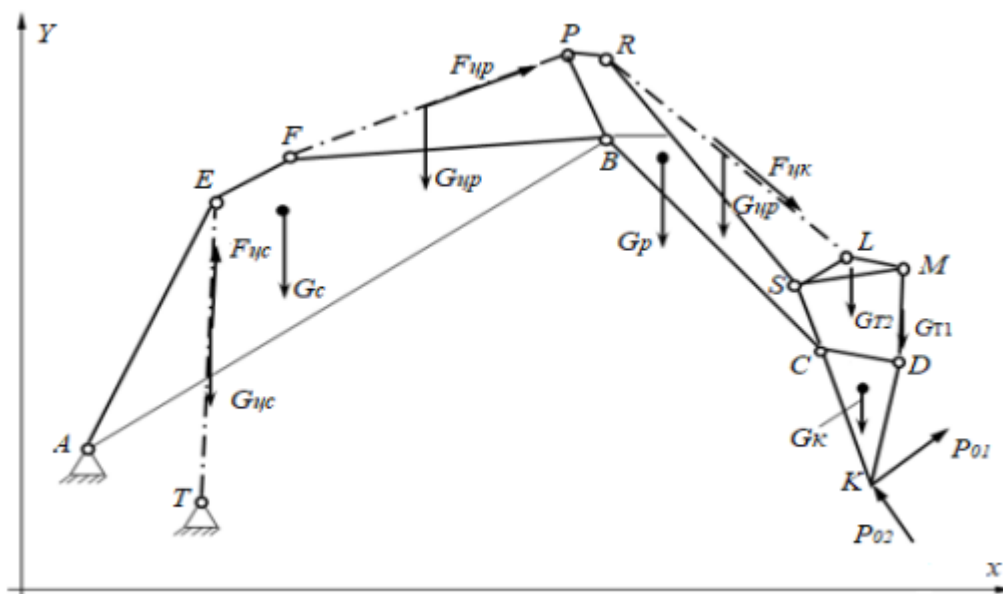


Рис. 1 - Схема к определению усилий: $G_c, G_p, G_k, G_{цс}, G_{цр}, G_{цк}, G_{т1}, G_{т2}$ – силы тяжести стрелы, рукояти, ковша, цилиндров стрелу, рукояти, ковша; P_{01}, P_{02} – касательная и нормальная составляющие усилия сопротивления копанию; $F_{цс}, F_{цр}, F_{цк}$ – усилия на штоках гидроцилиндров

Что делает выполнение работы уникальным, так это ее зависимость от нескольких факторов, в том числе:

- Положение и траектории зубьев ковша.
- Размеры, точки крепления и углы наклона гидроцилиндров, а также давление рабочей жидкости (как показано на рис. 1).
- Силы тяжести, действующие на элементы рабочего оборудования.

Таким образом чтобы рассчитать усилия, требуются силы тяжести, которые зависят от сечений элементов. Для определения же сечений требуются усилия. Эту противоречивость можно преодолеть, используя прием постепенного уточнения параметров: вначале по приближенным регрессивным зависимостям определяется масса элементов, проводится

расчет усилий, определяются оптимальные сечения элементов, уточняется масса и проводится повторный расчет усилий. [3]

На рассматриваемом рисунке 2, изображена наиболее опасная ориентация. В этой конфигурации шток гидроцилиндра поворачивает рукоятку таким образом, что она выравнивается перпендикулярно ее продольной оси, а режущая кромка ковша проходит вдоль той же оси. Размеры и расположение стрелы и рукояти тщательно подобраны таким образом, чтобы максимально увеличить доступную рабочую площадь, сохраняя при этом их конструктивную целостность, а также устойчивость и мобильность экскаватора. [4]

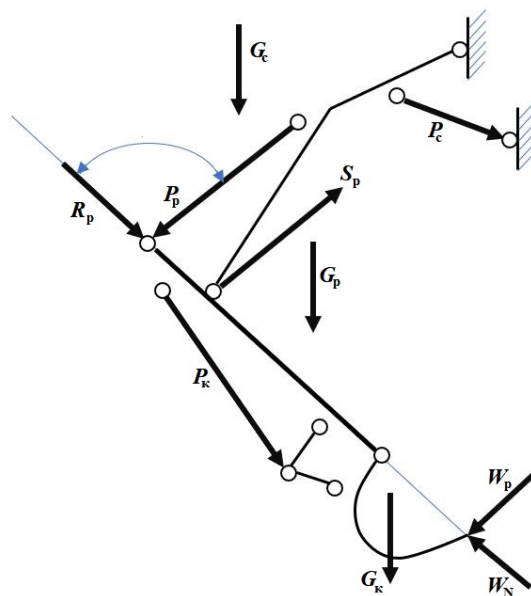


Рис. 2 – Схема действия сил на экскаваторное оборудование:

W_p – составляющая усилия копания, перпендикулярная оси рукояти; W_N – составляющая усилия копания, действующая по оси рукояти; G_c – сила тяжести стрелы; G_p – сила тяжести рукояти; G_k – сила тяжести ковша с грунтом; P_c – усилие гидроцилиндра подъема стрелы; P_p – усилие гидроцилиндра поворота рукояти; P_k – усилие гидроцилиндра поворота ковша; S_p – нормальная составляющая реакции стрелы на рукоять; R_p – продольная составляющая реакции стрелы на рукоять.

Во время выемки грунта при вращении ковша и ударе его кромкой о препятствие, которое невозможно преодолеть, давление в цилиндре вращения ковша достигает максимально допустимого уровня. Сила сопротивления, обозначенная как W , которая прикладывается к краю ковша в этом сценарии, зависит как от его ориентации, так и от крутящего момента, создаваемого усилием гидроцилиндра относительно точки поворота крепления ковша к ручке. Этот крутящий момент достигнет своей максимальной величины, когда длина перпендикулярной линии, проведенной от центра шарниров к оси штока гидроцилиндра, достигнет максимальной величины. Метод расчета проиллюстрирован на рисунке 3 и заключается в следующем:

$$W = \frac{P_{ГЦ} \cdot a}{R_k \cdot \sin \alpha} \quad (2.1)$$

где W – сила, возникающая на кромке ковша при его упоре в препятствие,
 $P_{ГЦ}$ – сила, развиваемая гидроцилиндром поворота ковша при упоре в препятствие,
 a – длина перпендикуляра из центра шарнира на ось штока гидроцилиндра поворота ковша,

R_k – радиус ковша (расстояние от кромки ковша до шарнира крепления его к рукояти);
 α – угол между линией действия силы P и радиусом ковша.

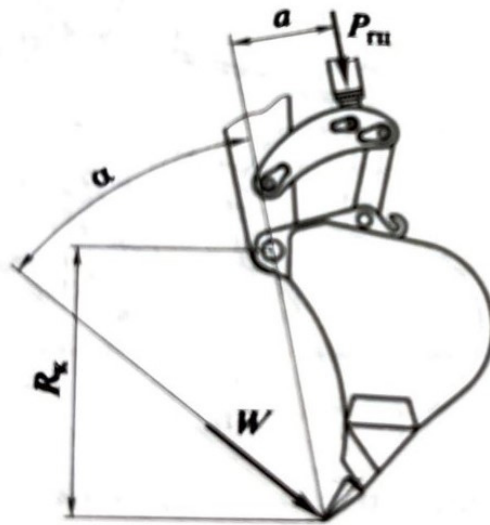


Рис. 3 – Схема действия сил при встрече ковша с непреодолимым препятствием

Стоит отметить, что когда α приближается либо к 0 , либо к 180° , то теоретическая сила W стремится к бесконечности. Однако в практических ситуациях фактическое усилие W ограничено такими факторами, как риск опрокидывания рабочего оборудования экскаватора, возможность опрокидывания экскаватора относительно контрольных точек A (как показано на рисунке 4) или B (как показано на рисунке 5) или потенциальная возможность его опрокидывания. скользите по опорной поверхности (как показано на рисунке 6). При оценке устойчивости экскаватора в реальных условиях крайне важно учитывать величину усилий и расположение центров тяжести шасси с его вращающейся платформой, стрелой, рукояткой и ковшом с грунтом. Кроме того, необходимо также учитывать силы инерции, возникающие при вращении машины, подъеме и опускании стрелы, а также вращении рукоятки и ковша.

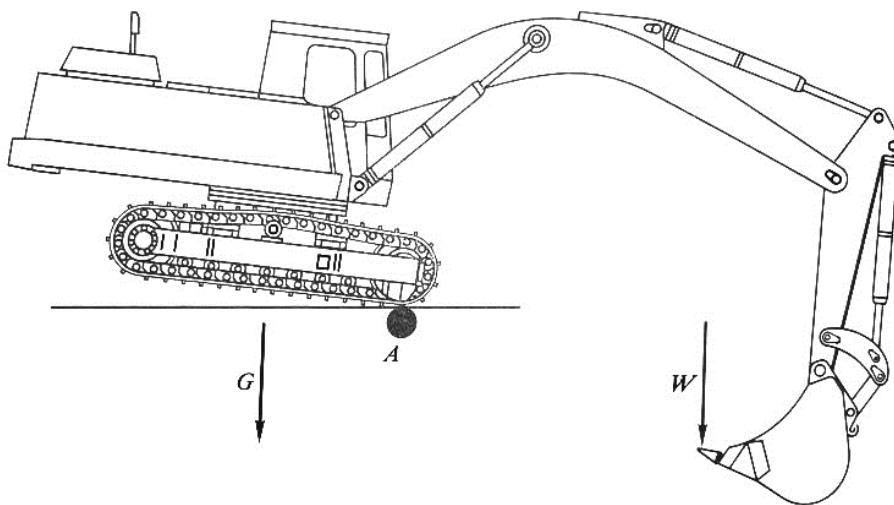


Рис. 4 – Опрокидывание экскаватора относительно ребра A

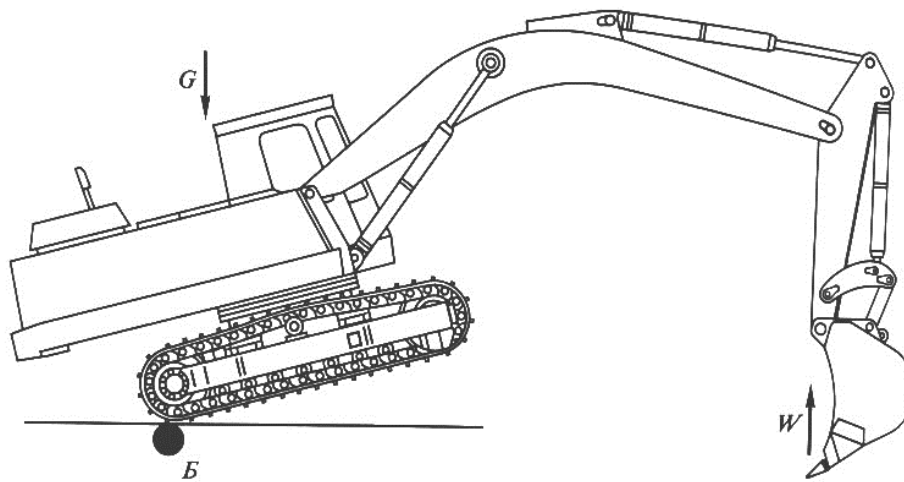


Рис. 5 – Опрокидывание экскаватора относительно ребра Б

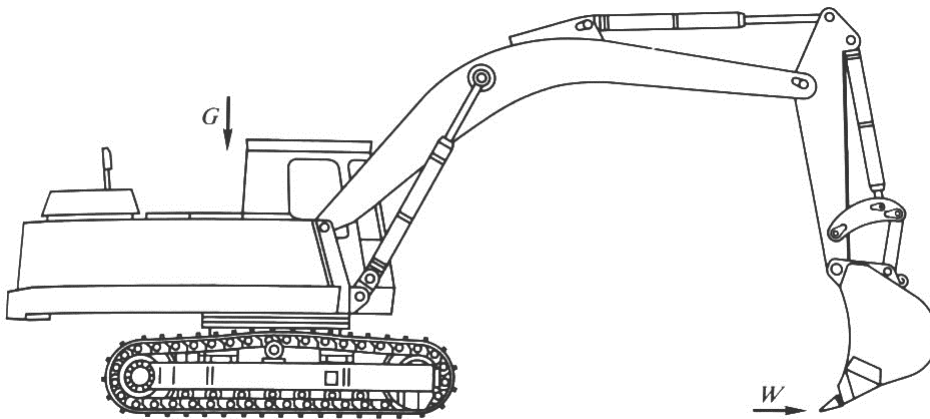


Рис. 6 – Протаскивание экскаватора относительно поверхности

Производительность одноковшового экскаватора Π , м³/ч, рассчитывают по формулам:

$$\Pi = \frac{3600 V_k k_{\text{нап}} k_{\text{упр}} k_v}{T \cdot k_{\text{рых}}} \quad (2.2)$$

$$T = t_{\text{зап}} + t_{\text{пов}} + t_{\text{выг}} + t_{\text{обр}} \quad (2.3)$$

где T – полная продолжительность рабочего цикла,
 V_k – геометрическая вместимость ковша, м³,
 $k_{\text{нап}}$ – коэффициент наполнения ковша ($k_{\text{нап}} \leq 1,35$);
 $k_{\text{упр}}$ – коэффициент, учитывающий эффективность систем управления и квалификацию машиниста (при средней квалификации машиниста $k_{\text{упр}} \leq 1,35$);
 k_v – коэффициент использования времени смены,
 $k_{\text{рых}}$ – коэффициент разрыхления грунта при разработке,
 $t_{\text{зап}}$ – продолжительность заполнения ковша, с,

$t_{\text{выг}}$ – продолжительность выгрузки ковша, с,
 $t_{\text{пов}}$ – продолжительность поворота экскаватора для выгрузки ковша, с,
 $t_{\text{обр}}$ – продолжительность поворота экскаватора с пустым ковшом в исходное положение, с.

Сопротивление копанию при копании поворотом рукоятки определяется по формуле:

$$W_k = W_{\text{рез}} + W_{\text{зап}} + W_{\text{пр}} \quad (2.4)$$

Составляющие сопротивления копанию определяют по следующим формулам:

$$W_{\text{рез}} = K_{\text{рез}} \cdot b_k \cdot h_{\text{коп}} \quad (2.5)$$

$$W_{\text{зап}} = K_{\text{сж}} \cdot b_k \cdot h_{\text{коп}} \quad (2.6)$$

$$W_{\text{пр}} = 0,4V_k \cdot k_{\text{нап}} \cdot \rho_{\text{гр}} \cdot g \cdot \mu_{\text{гр}} \quad (2.7)$$

где

$W_{\text{зап}}$ – сопротивление заполнению ковша, Н;

$W_{\text{рез}}$ – сопротивление грунта резанию, Н;

$W_{\text{пр}}$ – сопротивление перемещению призмы волочению перед ковшом, Н;

$K_{\text{сж}}$ – удельное сопротивление стружки продольному сжатию ($K_{\text{сж}} = 4700$ Па);

$K_{\text{рез}}$ – удельное сопротивление грунта резанию, Па,

b_k – ширина ковша, м,

$h_{\text{коп}}$ – глубина копания, м;

$k_{\text{нап}}$ – коэффициент наполнения ковша;

0,4 – коэффициент пропорциональности объема призмы волочению геометрической вместимости ковша;

V_k – геометрическая вместимость ковша экскаватора, м³;

$\rho_{\text{гр}}$ – плотность разрыхленного грунта кг/м³;

g – ускорение свободного падения м/с²;

$\mu_{\text{гр}}$ – коэффициент трения грунта по грунту.

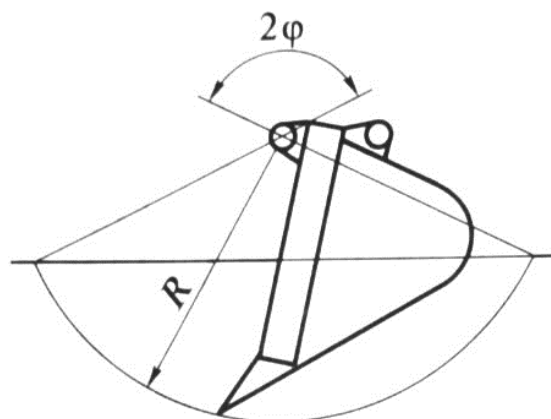


Рис. 7 – Схема копания грунта поворотом ковша

При выемке грунта путем поворота ковша вокруг точки крепления на рукоятке (как

показано на рис. 7) толщина срезаемого материала сначала увеличивается с нуля до максимального значения, а затем снова уменьшается до нуля. Во время этого процесса сопротивление выемке грунта, обозначаемое как W_k определяется с использованием следующих уравнений:

$$W_k = W_{рез.кр} + W_{нап} \quad (2.8)$$

$$W_{рез.кр} = KR^{1,35}(1 + \cos\varphi)^{1,35} \quad (2.9)$$

$$W_{нап max} = K_{нап}(0,5 - \varphi) V_k \text{ или } W_{нап max} \approx 0,15 W_{рез} \quad (2.10)$$

где $W_{рез.кр}$ – максимальное за цикл сопротивление резанию грунта ковшем с режущей кромкой без зубьев, Н;

K – сопротивление резанию грунта режущим периметром, Н;

R – радиус траектории и режущей кромки ковша, м;

φ – половина угла поворота ковша в грунте, ...°;

$W_{нап max}$ – максимальное за цикл сопротивление наполнению ковша грунтом;

$K_{нап}$ – удельное сопротивление наполнению ковша грунтом ($K_{нап}=10$ кН/м³);

V_k – вместимость ковша, м³.

Для ковша с режущей кромкой без зубьев

$$K = 10c(1 + 2,6 b_k)(1 + 0,0075\alpha)(1 + 0,03s)\beta\delta \quad (2.11)$$

Для ковша с зубьями

$$K = 10c(1 + 2,6 b_k)(1 + 0,0075\alpha)z\delta \quad (2.12)$$

где c – прочность грунта, измеренная плотномером ДорНИИ, число ударов;

b_k – ширина ковша, см;

α – угол резания, ...°;

s – толщина вертикальных профилей, см;

β – коэффициент, учитывающий заострение вертикальных режущих профилей (для тупых профилей $\beta=1,05$, для заостренных под углом 45° $\beta=1,0$);

δ – коэффициент, учитывающий схему забоя (если свободна только дневная поверхность забоя - $\delta=1$, если свободны дневная поверхность и обе вертикальных стенки - $\delta=0,50$);

z – коэффициент, учитывающий расстояние между зубьями (если расстояние между зубьями превышает ширину зуба в 2-3 раза, $z=1$, иначе $z=1,2$).

Объем грунта, срезаемого «обратной лопатой» за один цикл при копании поворотом ковша, рассчитываются по формуле:

$$V_{гр} = 0,2R^2(2\varphi - \sin 2\varphi) \quad (2.13)$$

3. Результаты и обсуждение

Для оценки потенциальных нагрузок на зубья ковша и внутри компонентов рабочего оборудования невозможно установить точные аналитические соотношения из-за множества влияющих параметров. Следовательно, становится необходимым интерпретирующий подход. При расчете потенциальных усилий копания начальный этап включает в себя установку максимального (фиксирующего) усилия копания на зубьях ковша, после чего

вычисляются усилия, действующие на штоки гидроцилиндров. Если усилия на штоках превышают значения, приводящие в действие предохранительные клапаны, усилие на ковше уменьшается, и расчеты повторяются до тех пор, пока не активизируются предохранительные клапаны во всех гидроцилиндрах. [4,5]

Расчеты усилия выполняются после определения координат всех элементов рабочего оборудования для заданной конструктивной конфигурации, как показано на рисунке 1. Эти координаты вычисляются на основе предоставленных размеров рабочего оборудования и при полностью выдвинутых штоках гидроцилиндров. Для расчета допустимой рабочей зоны используется система из трех вложенных циклов, при этом размеры гидроцилиндров задаются постепенно в соответствии с рисунком 8. Для каждой полученной точки в пределах этой структуры вычисляются соответствующие силы.

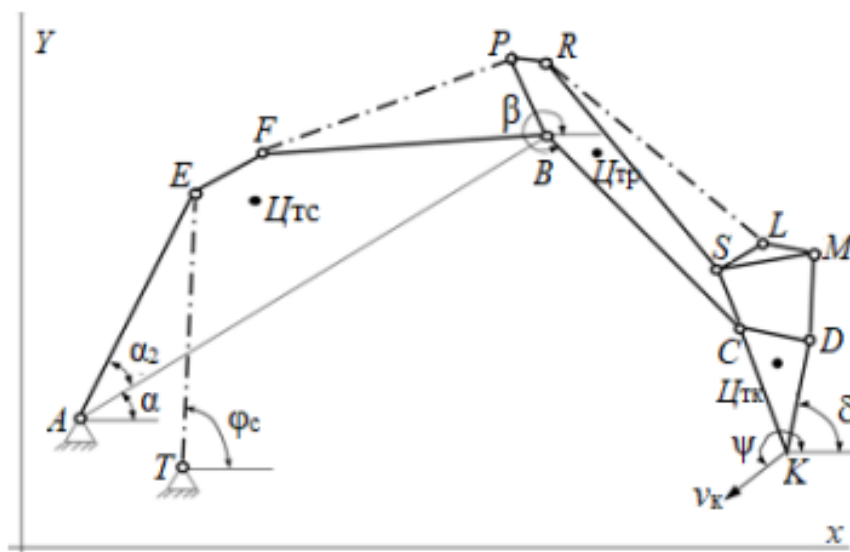


Рис. 8 - Схема к определению параметров рабочей зоны и положений элементов рабочего оборудования: $\alpha, \alpha_2, \varphi_c, \beta, \psi$ – углы для расчета координат точек элементов рабочего оборудования; v_k – скорость перемещения зубьев ковша; A, T, E, F, P, R, B, S, L, M, C, D – шарниры; K – вершина зуба ковша

Гидравлические экскаваторы обычно выполняют земляные работы, поворачивая ковш вокруг точки шарнира C, приводимой в действие гидроцилиндром. Во время этого процесса линейная скорость V и тангенциальная составляющая силы сопротивления копанию P действуют под прямым углом к линии СК.

Распределение усилия от зубьев ковша к другим компонентам рабочего оборудования осуществляется с помощью угла P . Этот угол определяется на основе ранее установленных координат точек K и C, как показано на рисунке 8.

Угол наклона линии СК относительно горизонта показан на рисунке 9.

$$\beta_{СК} = \arctg \frac{y_K - y_C}{x_K - x_C} \quad (3.1)$$

Угол наклона линии касательной к горизонту ψ

$$\psi = \beta_{СК} - \frac{\pi}{2} \quad (3.2)$$

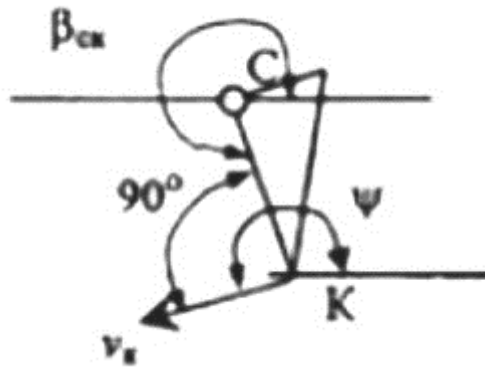


Рис. 9 – Схема к расчету угла наклона касательной при копании поворотом ковша

Нормальная составляющая усилия копания по известным методикам [3] определяется по коэффициенту пропорциональности через касательную составляющую:

$$P_{02} = K \cdot P_{01} \quad (3.3)$$

Суммарная сила тяжести рабочего оборудования

$$G_{po} = G_c + G_p + G_k + G_{цс} + G_{цр} + G_{цк} + G_{т1} + G_{т2} \quad (3.4)$$

Проекции на оси координат определяются по составляющим усилиям сопротивления копанию, для последующего использования в расчете усилий в конкретных элементах рабочего оборудования:

$$P_x = -P_{01} \cos \psi + P_{02} \sin \psi \quad (3.5)$$

$$P_y = -P_{01} \sin \psi - P_{02} \cos \psi \quad (3.6)$$

Усилие на штоке гидроцилиндра стрелы по условию равновесия относительно точки А определяется по формуле:

$$F_{цс} = \frac{G_c(x_{цтс} - x_A) + G_p(x_{цтп} - x_A) + G_k(x_{цтк} - x_A)}{L_{AE} \sin(\varphi_c - \alpha - \alpha_2)} + \frac{G_{цс}(\frac{x_T + x_E}{2} - x_A) + G_{цр}(\frac{x_F + x_P}{2} - x_A) + G_{цк}(\frac{x_R + x_L}{2} - x_A)}{L_{AE} \sin(\varphi_c - \alpha - \alpha_2)} + \frac{G_{т1}(\frac{x_M + x_D}{2} - x_A) + G_{т2}(x_{цт} - x_A) - P_y(x_k - x_A) + P_x(y_k - y_A)}{L_{AE} \sin(\varphi_c - \alpha - \alpha_2)} \quad (3.7)$$

где x, y – соответственно горизонтальные и вертикальные координаты элементов рабочего оборудования;

L_{AE} – расстояние между шарнирами А и Е, далее по аналогии (по рис 8)

Усилие в тяге DM

$$F_{MD} = \frac{P_y(x_k - x_c) + P_x(y_c - y_k) - 0,5G_{цп}(x_D - x_C) - G_k(x_{цтк} - x_C)}{L_{CD} \sin(\angle MDx - \angle DCx)} \quad (3.8)$$

Реакции в шарнире «рукоять-ковш» (точка C)

$$C_x = R_D \cos \theta - P_x \quad (3.9)$$

$$C_y = R_D \sin \theta + G_k + 0,5G_{\tau 1} - P_y \quad (3.10)$$

Усилие на штоке гидроцилиндра ковша

$$F_{цк} = \frac{R_D \cdot SD \sin(\theta - \tau + \tau_L) - 0,5G_{цк}(x_L - x_S) - 0,5G_{цк}(x_M - x_S) - G_{\tau 2}(x_{цт} - x_S)}{SL \sin(\tau - \varphi_k)} \quad (3.11)$$

Усилие на шарнире «шток цилиндра рукояти-балансир» (точка S)

$$S_x = -F_{цк} \cos \varphi_k + R_D \sin \theta \quad (3.12)$$

$$S_y = 0,5G_{цк} - F_{цк} \sin \varphi_k - R_D \sin \theta + 0,5G_{\tau 1} + G_{\tau 2} \quad (3.13)$$

Усилие на штоке гидроцилиндра рукояти

$$F_{цр} = \frac{P_y(x_k - x_B) + P_x(y_B - y_k) - G_p(x_{цтр} - x_B) - G_k(x_{цтк} - x_B)}{L_{BP} \sin \angle FPB} + \frac{G_{цк} \left(\frac{x_R + x_D}{2} - x_B \right) + 0,5G_{цр}(x_B - x_P) + G_{цк} \left(\frac{x_R + x_L}{2} - x_B \right)}{L_{BP} \sin \angle FPB} + \frac{G_{\tau 1} \left(\frac{x_M + x_D}{2} - x_B \right) + G_{\tau 2}(x_{цт} - x_A)}{L_{BP} \sin \angle FPB} \quad (3.14)$$

где $\angle FPB$ - угол между отрезками FP и PB далее по аналогии (см по рис8)

Реакции в шарнире «пята стрелы-платформа» (точка A)

$$A_x = -P_x - F_{цс} \cos \varphi_c \quad (3.15)$$

$$A_y = G_{po} - P_y - F_{цс} \sin \varphi_c \quad (3.16)$$

Реакции в шарнире «стрела-рукоять» (точка B)

$$B_x = -F_{цс} \cos \varphi_c + F_{цр} \cos \varphi_c - A_x \quad (3.17)$$

$$B_y = -F_{цс} \sin \varphi_c + F_{цр} \sin \varphi_c - A_y + G_c + 0,5(G_{цс} + G_{цр}) \quad (3.18)$$

Значения усилий и реакций, определенные по представленным выражениям, используются для расчета напряжений в элементах стрелы и последующего подбора сечений рабочего оборудования.

Определение координат точек элементов рабочего оборудования выполняют по текущим выдвиганиям штоков гидроцилиндров поворота ковша, рукоятки и стрелы по выражениям, полученным по теоремам синусов и косинусов.

Процесс выемки грунта гидравлическим экскаватором зависит от функционирования гидроцилиндров, ответственных за поворот ковша, рукоятки и стрелы. Наиболее энергоэффективный подход предполагает выемку грунта поворотом ковша вокруг точки крепления к рукоятке, обозначенной как точка С на рисунке 8. В этой конфигурации гидроцилиндры, управляющие стрелой и рукояткой, работают в режиме торможения, предотвращая их перемещение. Когда давление в гидроцилиндрах превышает установленное предохранительными клапанами, соответствующие штоки начинают двигаться, что приводит к вращению стрелы или рукоятки. Следовательно, максимальное усилие копания, достижимое на зубьях ковша, определяется работой гидроцилиндров стрелы, рукоятки и ковша.

Чтобы рассчитать это максимальное усилие копания, был использован алгоритм для определения приемлемого решения. Это максимальное усилие копания устанавливается на основе первоначального требования к касательной составляющей силы сопротивления копанию P_{01} , заведомо большей усилия копания рассматриваемого экскаватора. По P_{01} , определяют усилия на штоках гидроцилиндров стрелы $F_{цс}$, рукоятки $F_{цр}$, и ковша $F_{цк}$ Ф. Усилия, действующие на штоки, сопоставляются со значениями усилий, приводящих в действие предохранительные клапаны. В частности, для положительных вычисленных значений сравнение производится с силами, связанными с давлением внутри полости поршня, а для отрицательных значений сравнение относится к полости штока гидроцилиндра. Если предохранительный клапан активирован, параметр P_{01} уменьшается, и расчеты повторяются до тех пор, пока усилия на стержнях не упадут ниже пороговых значений, которые приводят в действие предохранительные клапаны.

Математическая модель реализована с помощью прикладной программы Visual Basic for, состоящей из 3000 строк кода. Алгоритм программы позволяет регулировать удлинение штоков гидроцилиндров, управляющих стрелой, рукояткой и ковшом, в диапазоне от минимальных до максимальных значений. Это позволяет определять координаты различных точек внутри рабочего оборудования, усилия при выемке грунта и усилия, задействованные при выемке грунта и транспортировке ковша внутри рабочего оборудования. Координаты верхней части зуба ковша и усилия при выемке представлены сегментами в масштабе на листе. Кроме того, программа отображает рабочую зону экскаватора (как показано на рисунке 10) и предлагает таблицу значений усилия на штоках гидроцилиндров и шарнирах рабочего оборудования, а также диаграммы для большей наглядности. На рисунке 4 показаны заметные изменения усилий в процессе работы.

Численные параметры, использованные в расчетах, были применены к экскаватору, оснащенный ковшом емкостью 4 кубических метра. Разработанная модель облегчает определение границ рабочей зоны и сил, действующих на компоненты рабочего оборудования. Расчет для всей зоны позволяет определить максимальное значение усилия для каждого элемента, помогая в выборе подходящих секций компонентов без чрезмерного запаса прочности, что в итоге приводит к снижению веса экскаватора.

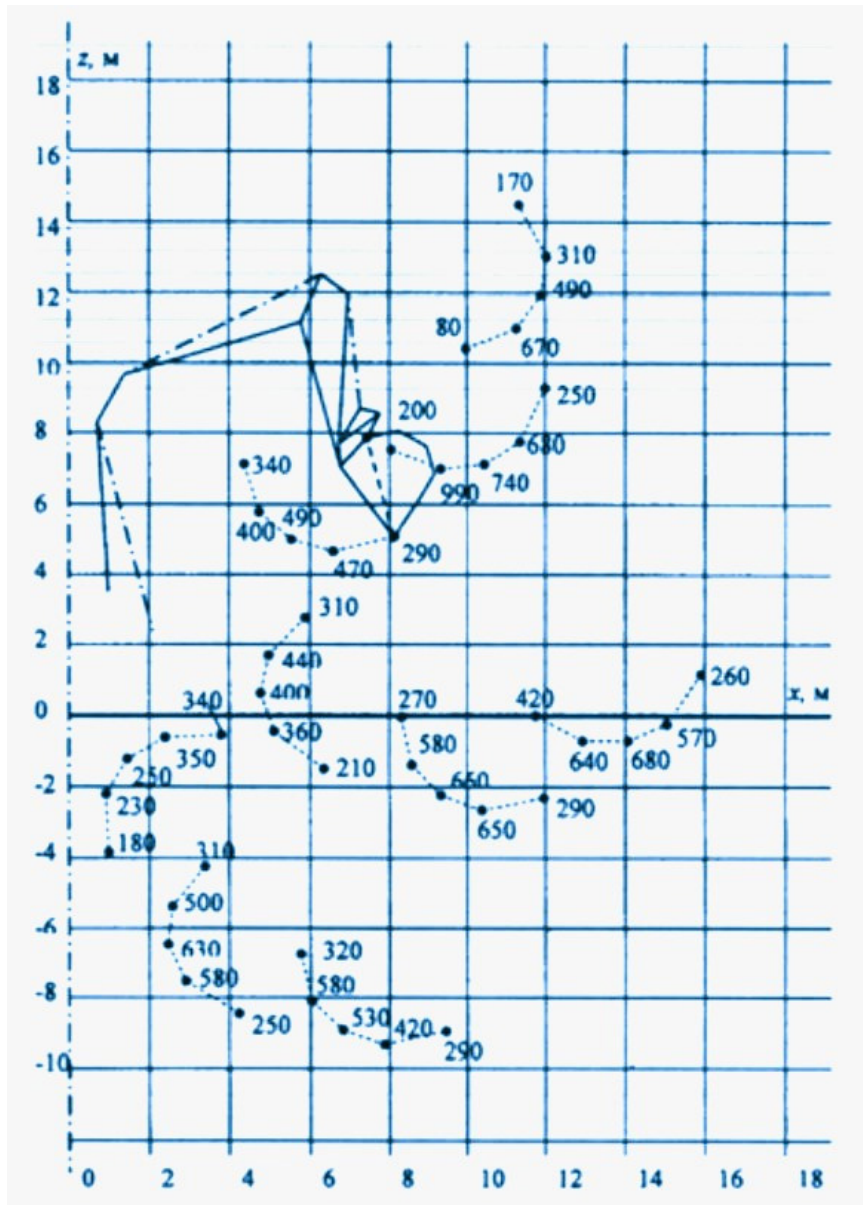


Рис. 10 – Возможные значения касательных составляющих усилий сопротивления копанию P_{01} , кН

4. Выводы

В данной работе проведен технический анализ и выводы, касающиеся эксплуатации и оптимизации рабочего оборудования гидравлического экскаватора, с особым упором на расчет сил, реакций и напряжений в различных элементах оборудования. Вот краткое изложение ключевых моментов:

Расчет силы: Эти значения имеют решающее значение для расчета напряжений в элементах стрелы и выбора подходящих секций для рабочего оборудования.

Определение координат: Координаты различных элементов рабочего оборудования определяются на основе текущих удлинений штоков гидроцилиндров. Эти вычисления основаны на теоремах синуса и косинуса.

Работа гидроцилиндров: Процесс копания с помощью гидравлического экскаватора основан на работе гидроцилиндров для поворота ковша, рукоятки и стрелы. Чтобы свести к минимуму потребление энергии, ковш поворачивается относительно шарниров рукоятки ковша, в то время как гидроцилиндры стрелы и рукоятки работают в режиме торможения.

Предохранительные клапаны: Превышение установленного давления предохранительных клапанов в гидроцилиндрах приводит к перемещению штоков и вращению стрелы или рукоятки. Максимальное усилие копания, достижимое на зубьях ковша, определяется работой стрелы, рукоятки и гидроцилиндров ковша.

Алгоритм расчета усилия копания: Алгоритм используется для поиска решения для расчета наибольшего усилия копания. Это усилие определяется касательной составляющей силы сопротивления копанию при сравнении с усилиями, действующими на штоки гидроцилиндров при срабатывании предохранительных клапанов.

Программная реализация: Математическая модель реализована с использованием прикладной программы Visual Basic for Application, содержащей около 3000 строк кода. Программа позволяет определять различные параметры, связанные с оборудованием, такие как усилие при копании и усилия, прилагаемые в процессе выемки грунта.

Визуализация и оптимизация: Результаты расчетов визуализируются в масштабе, показывающем рабочую зону экскаватора. Эти данные помогают определить границы рабочей зоны и силы, действующие на различные элементы. Рассчитывая усилия для всей зоны, становится возможным выбрать соответствующие размеры поперечного сечения элементов оборудования, оптимизируя прочность без лишнего веса.

В заключение, этот процесс технического анализа и моделирования обеспечивает метод оптимизации конструкции гидравлического экскаваторного оборудования, гарантирующий, что оно сможет эффективно выполнять землеройные работы при минимальном потреблении энергии и снижении избыточного веса компонентов оборудования. Выбранный метод расчета усилий копания и нагрузок, действующих на элементы рабочего оборудования гидравлического экскаватора, играют решающую роль в достижении этой оптимизации.

Список литературы

1. Лукашук, О.А. 184 Машины для разработки грунтов. Проектирование и расчет: учебное пособие / О.А. Лукашук, А.П. Комиссаров, К.Ю. Летнев. — Екатеринбург: Изд-во Урал. ун-та, 2018. — С. 106-110.
2. Галдин Н.С., Расчет и проектирование гидроцилиндров и гидравлических ударных устройств [Электронный ресурс]: Методические указания/ Н.С. Галдин, И.А. Семенова. — Омск: СибАДИ, 2018. — Режим доступа: <http://bek.sikadi.org/fulltext/esd654.pdf>, (дата обращения 10.10.2023г.)
3. К.К. Шестопапов, Строительные и дорожные машины: учебник для студентов учреждений высшего образования/К.К. Шестопапов. — М.: Издательский центр Академия, 2018, С 103-108.
4. Комиссаров А. П., Лагунова Ю. А., Шестаков В. С., Телиман И. В. Методика определения реактивных нагрузок в гидравлических экскаваторах// Технологическое оборудование для горной и нефтегазовой промышленности: Сборник трудов XVII международной научно-технической конференции «Чтения памяти В.Р. Кубачека», Екатеринбург: УГГУ, 2019, С. 264-266.
5. Телиман И. В., Малыбаев Н. С., Комиссаров А. П., Шестаков В. С. Программа для ЭВМ Расчеты кинематических и силовых параметров рабочего оборудования гидравлического экскаватора обратная лопата // Свидетельство о внесении сведений в государственный реестр прав на объекты, охраняемые авторским правом № 8069 от 10 февраля 2020 года.
6. Телиман И. В. Обоснование конструктивных и режимных параметров рычажно-гидравлических механизмов карьерного гидравлического экскаватора // Научно-технический журнал «Известия высших учебных заведений. Горный журнал» Екатеринбург: УГГУ, 2019, С.132-135
7. Nabiullin R., Khoroshavin S., Teliman I. The interaction of the main actuators of hydraulic excavators // E3S Web of Conferences Volume 177 (2020) XVIII Scientific Forum —Ural Mining Decade (UMD 2020) Ekaterinburg, Russia, April 2-11, 2020

8. Palomba, I.; Richiedei, D.; Trevisani, A.; Sanjurjo, E.; Luaces, A.; Cuadrado, J. (2019): Estimation of the digging and payload forces in excavators by means of state observers. *Mechanical Systems and Signal Processing*, 134. [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106356>, (дата обращения 11.10.2023г.)

9. Zhao, Y.; Wang, J.; Zhang, Y.; Luo, C. (2020): A Novel Method of Soil Parameter Identification and Force Prediction for Automatic Excavation, *IEEE Access*, 8, 11197-11207, [Электронный ресурс]: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2965214>, (дата обращения 11.10.2023г.).

Гидравликалық экскаватордың жұмыс жабдығының элементтеріне әсер етуші қазу күштері мен жүктемелерді анықтау әдісін таңдау

¹А.С. Даньярова, ¹Б.Б. Тогизбаева, ¹К.Г. Балабеков, ¹А.Б. Кенесбек

¹Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті., Астана, Қазақстан

Аннотация. Гидравликалық экскаваторлар жебеден, тұтқадан және шөміштен тұратын көп функциялы жер қазу машиналары екені белгілі.

Экскаватор гидравликалық сұйықтық принципі бойынша гидравликалық цилиндрмен және гидравликалық қозғалтқыштар арқылы жұмыс істейді. Гидравликалық экскаваторды пайдалануға шөміш ұшының орнын қажетті траектория бойынша басқару үшін жебенің, тұтқаның және шелектің үйлестірілген қозғалысын қамтамасыз ету міндет. Демек, бұл машинаны қараңғы уақытта, нашар жұмыс жағдайында, қатал ауа-райында, қауіпті немесе зиянды ортада, тіпті табиғи апаттар аймағында тиімді немесе тиімділігін толықтай ескере отырып пайдалануға ықпал етеді.

Гидравликалық экскаваторды басқару үшін осы машинаның кинематикасы мен динамикасын түсіну арқылы жүзеге асырылады. Осы мақсатқа жету үшін бұл мақалада экскаватор машинасының кинематикасына байланысты әртүрлі есептеу әдістері келтірілген, Сонымен қатар оның математикалық моделі құрастырылған. Осылайша гидравликалық экскаватордың мінез-құлқын түсінуге және өнімділігін жақсарту үшін үлесі зор.

Түйінді сөздер: экскаватор, кинематика, экскаватордың тұтқасы, экскаватордың жебесі, шөміш, модельдеу.

Selecting an approach to calculate the excavation forces and the loads exerted on the components of the hydraulic excavator's working equipment.

¹A.S. Danyarova, ¹B.B. Togizbayeva, ¹K.G. Balabekov, ¹A.B. Kenesbek.

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Abstract. It is known that hydraulic excavators are multifunctional earthmoving machines consisting of an arm, a handle and a bucket.

The excavator operates on the principle of hydraulic fluid with a hydraulic cylinder and hydraulic motors. It is important to note that the operation of a hydraulic excavator requires coordinated movement of the boom, handle and bucket to control the position of the bucket tip along the desired trajectory. Thus, it contributes to the effective use of the machine in the dark, in the worst working conditions, in severe weather, in a dangerous or unhealthy environment, and even in the territories of natural disasters.

Hydraulic excavator control is possible provided you understand the kinematics and dynamics of the excavator machine. To achieve this goal, this article presents various calculation methods related to the kinematics of an excavator machine, which are useful when performing its kinematic modeling. Which in turn contributes to understanding the behavior and improving the performance of a hydraulic excavator.

Keywords: excavator, kinematics, boom, bucket, handle, modeling.

List of sources

1. Lukashuk, O.A. L84 Machines for soil development. Design and calculation : textbook / O.A. Lukashuk, A.P. Komissarov, K.Yu. Letnev. — Yekaterinburg : Ural Publishing House. un-ta, 2018. — pp. 106-110.
2. Galdin N.S., Calculation and design of hydraulic cylinders and hydraulic shock devices [Electronic resource]: Methodical instructions/ N.S. Galdin, I.A. Semenova. – Omsk: SibADI, 2018. – Access mode: <http://bek.sikadi.org/fulltext/esd654.pdf> , (accessed 10.10.2023)
3. K.K. Shestopalov, Construction and road machines: textbook for students of institutions of higher education/K.K. Shestopalov. – M.: Publishing Center Academy, 2018, From 103-108.
4. Komissarov A. P., Lagunova Yu. A., Shestakov V. S., Teliman I. V. Methodology for determining reactive loads in hydraulic excavators// Technological equipment for mining and oil and gas industry: Proceedings of the XVII International Scientific and Technical Conference “Readings in memory of V.R. Kubachek”, Yekaterinburg: UGSU, 2019, pp. 264-266.
5. Teliman I. V., Malybaev N. S., Komissarov A. P., Shestakov V. S. Computer program Calculations of kinematic and power parameters of working equipment of hydraulic excavator reverse shovel // Certificate of entry of information into the State register of rights to objects protected by copyright No. 8069 dated February 10, 2020.
6. Teliman I. V. Substantiation of constructive and operational parameters of lever-hydraulic mechanisms of a quarry hydraulic excavator // Scientific and technical journal “Izvestia of higher educational institutions. Mining Magazine” Yekaterinburg: UGSU, 2019, pp.132-135
7. Nabiullin R., Khoroshavin S., Teliman I. The interaction of the main actuators of hydraulic excavators // E3S Web of Conferences Volume 177 (2020) XVIII Scientific Forum —Ural Mining Decade // (UMD 2020) Ekaterinburg, Russia, April 2-11, 2020
8. Palomba, I.; Richiedei, D.; Trevisani, A.; Sanjurjo, E.; Luaces, A.; Cuadrado, J. (2019): Estimation of the digging and payload forces in excavators by means of state observers. Mechanical Systems and Signal Processing, 134. [Electronic resource]: <https://doi.org/10.1016/j.ymssp.2019.106356>, (accessed 11.10.2023r.)
9. Zhao, Y.; Wang, J.; Zhang, Y.; Luo, C. (2020): A Novel Method of Soil Parameter Identification and Force Prediction for Automatic Excavation, IEEE Access, 8, 11197-11207, [Electronic resource]: <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2020.2965214>, (accessed 11.10.2023r.).

Сведения об авторах:

Қаз.:

Даньярова А.С. – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетіндегі 8D07113 - «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» ББ бойынша білім алушы 2 курс докторанты, Қажымұқан көшесі 13, ЦИСИ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Тогизбаева Б.Б. – техника ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетіндегі «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» кафедрасының профессоры, Қажымұқан көшесі 13, ЦИСИ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Балабекова К.Г. – PhD, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетіндегі «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» кафедрасының доценті, Қажымұқан көшесі 13, ЦИСИ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Кенесбек А.Б. – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетіндегі «Көлік, көлік техникасы және технологиялары» кафедрасының, Қажымұқан көшесі 13, ЦИСИ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

Рус.:

Даньярова А. С. – докторант 2 курса обучающийся по ОП 8D07113 «Транспорт, транспортная техника и технологии» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана 13, ЦИСИ, Нур-Султан, Казахстан.

Тогизбаева Б.Б. – доктор технических наук, профессор кафедры «Транспорт, транспортная техника и технологии» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана 13, ЦИСИ, Нур-Султан, Казахстан.

Балабекова К.Г. – PhD, доцент кафедры «Транспорт, транспортная техника и технологии» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана 13, ЦИСИ, Нур-Султан, Казахстан.

Кенесбек А.Б. – PhD кафедры «Транспорт, транспортная техника и технологии» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана 13, ЦИСИ, Нур-Султан, Казахстан.

Англ.:

A.S. Danyarova – is a 2nd-year doctoral student studying in the EP 8D07113 “Transport, Transport equipment and Technologies” of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan Str., CISI, Nur-Sultan, Kazakhstan.

V.B. Togizbayeva – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department “Transport, Transport Equipment and Technologies” of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan Str., CISI, Nur-Sultan, Kazakhstan.

K.G. Balabekova – PhD of the Department “Transport, Transport Equipment and Technologies” of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan Str., CISI, Nur-Sultan, Kazakhstan.

A.B. Kenesbek – PhD of the Department “Transport, Transport Equipment and Technologies” of the L.N. Gumilyov Eurasian National University, 13 Kazhymukan Str., CISI, Nur-Sultan, Kazakhstan.

М.А. Сайлыгараева^{1*}, Н.Н. Нысанбай², Ж.Д. Байгурин¹

¹Satbayev University, Алматы, Казахстан

²ТОО "GeoConstruct Almaty", Алматы, Казахстан

E-mail: *mariya_23365@mail.ru, nmalikov03@bk.ru, baygurin@mail.ru

Методика инструментальных наблюдений за деформациями и техническим состоянием зданий и сооружений

Аннотация. Статья направлена на решение задач по созданию эффективной методики для проведения инструментальных наблюдений за прогибами в несущих конструкциях плитах перекрытия, главных и второстепенных ригелях верхнего уровня уникального здания подземного многофункционального общественного центра в условиях предгорной местности со сложными инженерно-геологическими характеристиками и энергетическим классом движений земной поверхности равной 4-5.

Периодические наблюдения за техническим состоянием способствуют своевременному выявлению критических отклонений конструктивных элементов здания и обеспечению безопасной эксплуатации сооружения. Предложена методика проведения тригонометрического нивелирования прогибов несущих конструктивных элементов здания для производства проведения периодических наблюдений за осадочными движениями здания и определения количественных значений осадок с учетом территориального расположения, инженерно-геологических условий, сейсмичности района и влияния внешней среды.

Ключевые слова: геодезический мониторинг, нивелирование, осадочные марки, плиты перекрытия, ригель.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-204-213

1. Введение

При строительстве зданий и сооружений (жилых, административных, промышленных зданий и т.д.) применяют множество инструментальных методов наблюдений за обеспечением должного технического состояния и сохранностью, а также безопасностью на длительный срок существования и эксплуатации. Наблюдения или мониторинг является одним из важнейших инструментов обеспечения надежности и безопасности высотных, уникальных и жилых зданий и сооружений в период их строительства и эксплуатации. Во многих городах и населенных пунктах, где выполняются крупные градостроительные объекты проводятся различные и специальные виды наблюдений (геодезические, автоматизированный мониторинг, космические методы и т.д.) для фиксирования отрицательных воздействий техногенного влияния, внешней среды, грунтового основания, гидрогеологических факторов. На практике имеются случаи оседания или вертикального изменения положения строительных конструкций, что приводило к нарушениям отдельных частей зданий и сооружений или разрушениям их проектных параметров (рис.1).



Рисунок 1. Обрушение крыши здания Центрального стадиона, г.Шымкент

Значительный объем инструментального мониторинга в период строительства и эксплуатации выполняется геодезическими методами. Геодезическими методами определяются как местные, так и общие деформации зданий и сооружений, отклонения несущих, ограждающих конструкций от вертикали и проектного положения, осадки фундаментов и грунтов, по которым конкретно судят о техническом состоянии здания или сооружения.

Накоплен большой опыт проведения инструментальных наблюдений за возможными деформационными процессами как в нашей стране, так и ближнем и дальнем зарубежье. Разработаны методики и технологии инструментальных наблюдений, которые учитывают архитектурные особенности высотных и уникальных строительных объектов. Учитывая разработанные методики на основе отечественных и зарубежных норм строительства высотных и уникальных сооружений во многих городах успешно сопровождаются научными исследованиями и накопленным практическим опытом. Разработаны специальные СНиПы мониторинга геодезическими методами и точностью выполнения геодезических работ (инструментальный геодезический мониторинг). В нормативных документах определены и рекомендованы комплекс периодических инженерно-геодезических измерений, выполняемых с целью определения количественных параметров общих деформаций зданий и сооружений, их несущих ограждающих конструкций [1,2,3,4,5].

В нашей стране широко используют автоматизированные системы контроля за состоянием зданий и сооружений в процессе строительства и эксплуатации и установления возможных процессов деформаций, основанных на геодезических методах измерения (гидростатика, виодоизмерительные системы и т.д.).

Объект исследования - здание подземного многофункционального общественного центра (рис.1), расположенного на центральной площади г. Алматы. Вдоль площади наблюдается интенсивное движение автотранспорта. Грунтовое основание подземного здания сложено плотными валуногалечниками. Здание относится к уникальным сооружениям как первое и единственное здание подземного типа, построенное в сложных инженерно-геологических условиях вблизи тектонического разлома. Надземная часть площади представляет собой единый живописный архитектурный ансамбль: здание Акимата со ступенчатым каскадным фонтанным комплексом, Монумент Независимости, Стелла, 17-этажное здание аппаратно-студийного комплекса телевидения. Площадь Республики имеет прямоугольную форму, длину 580 м и ширину 210 м.



Рисунок 1. Надземная часть здание подземного многофункционального общественного центра

Здание было построено в 2009 году. После нескольких лет эксплуатации было принято решение о возведении декоративных «лепестков» на надземной части (рис.2).

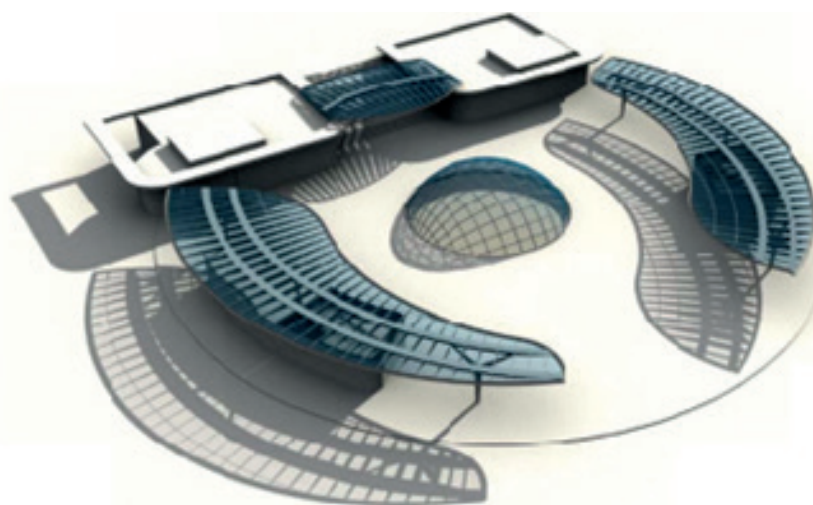


Рисунок 2. Модель надстраиваемого сооружения в виде лепестков над зданием подземного многофункционального общественного центра

Монтаж тяжелых металлических элементов оказывает значительную нагрузку на несущие железобетонные конструкции здания, поэтому были проведены работы по техническому обследованию входного блока и блока 1 подземного многофункционального общественного центра.

2. Методы

Установлено, в целом состояние верхнего яруса подземной части здания удовлетворительное, выявлены трещины в конструктивных элементах: ригелях, плитах перекрытия, диафрагмах жесткости (рис.3). Ширина раскрытия трещин в элементах перекрытий замерялась микроскопом МПБ-3 с точностью 0,02 мм. Составлена схема расположения трещин в плитах перекрытия верхнего яруса блока 1 (рис. 4), предложена интерполированная поверхность значений ширины раскрытия трещин по всей площади верхнего яруса (рис.5).



Рисунок 3. Трещины в плите перекрытия верхнего уровня подземного здания

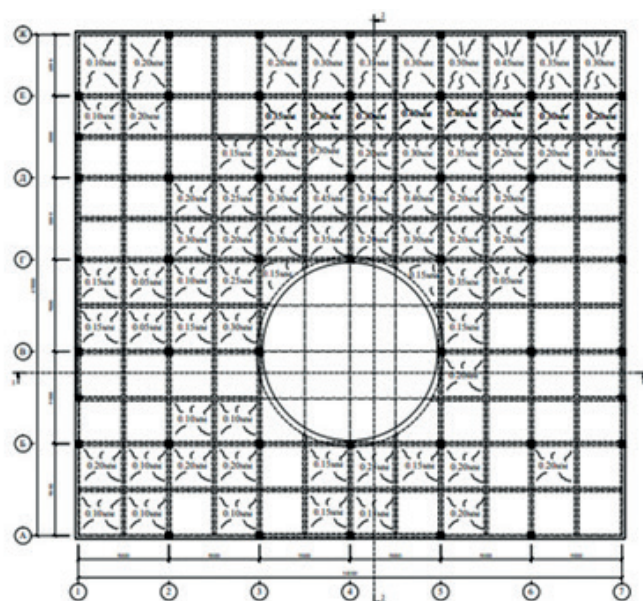


Рисунок 4. Схема расположения трещин в плите перекрытия верхнего яруса



Рисунок 5. Интерполированная поверхность плит перекрытия верхнего яруса здания подземного многофункционального общественного центра

Считаем, как показал опыт проведения инструментальных наблюдений, геодезический мониторинг является составной частью общего геотехнического мониторинга и исходных данных, от качества их проведения зависит решение поставленных задач по геомеханическому исследованию деформационных процессов. После возведения зданий и сооружений надлежит преимущественно использовать автоматизированные системы контроля деформации [6-12].

Основным положительным решением является при проведении геодезического мониторинга куда входит комплекс работ, включающий измерения (наблюдения), фиксацию результатов измерений, их математическую обработку, вычисление параметров деформаций, исключающих их превышении допустимых значений.

Наблюдения за прогибами середины пролетов изгибаемых элементов для определения количественных характеристик деформационных процессов здания выполнялись с помощью лазерного тахеометра «Leica Flexline TS02plus» с точностью 0,5 мм.

Геотехнический мониторинг выполнялся методом тригонометрического нивелирования в прямом и обратном направлении по маркерам, нанесенным на исследуемую поверхность плиты перекрытия, главных и второстепенных ригелей. Тахеометр устанавливали на станцию визирования, приводили в рабочее состояние и точно наводили лазерный луч тахеометра на обследуемые точки, фиксировали наклонное расстояние S до марки и вертикальный угол Z . По результатам угловых и линейных измерений вычисляем превышения h точек нивелирования над станцией визирования тахеометра (рис.6).

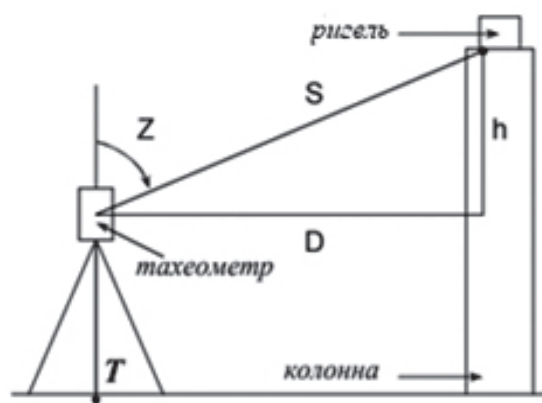


Рисунок 6. Схема наблюдений за прогибом ригеля верхнего уровня подземного сооружения с помощью лазерного электронного тахеометра

3. Результаты

В таблице 1 отобразена ведомость осадок марок подземного здания, расположенного в сложных инженерно-геологических условиях на территории с энергетическим классом сейсмических колебаний в районе 4-5. Величины вертикальных прогибов железобетонных перекрытий даны в числителях дроби, ширина раскрытия трещин-в знаменателях дроби, П-плита, Гр-главные ригели, Вр-второстепенные ригели. Аналогично измерены величины прогибов несущих элементов конструкции верхнего уровня по осям Д-Ж/4-5, 5-6, 6-7, Г-Д/2-3, 3-4, 4-5, 5-6, В-Г/1-2, 2-3, 5-6, Б-В/2-3, А-Б/1-2, 2-3, 3-4, 4-5.

Таблица 1. Замеры прогибов и ширины раскрытия трещин в элементах покрытия блока 1 Павильона 1 (в мм)

Оси здания	Марка точки замера	Цикл наблюдений нулевой, мм
Д-Ж/1-2	П ₁	30,0/0
	П ₂	30,0/0
	П ₃	28,0/0,20
	П ₄	26,0/0,10
	П ₅	27,0/0,10
	П ₆	24,0/0,20
	Вр ₇	19,0/0,10
	Гр ₈	46,0/0
	Гр ₉	38,0/0
	Вр ₁₀	10,0/0,15

Д-Ж/3-4	P_1	28,0/0,2
	P_2	6,0/0,3
	P_3	23,5/0,3
	P_4	3,0/0,35
	P_5	4,5/0,3
	P_6	18,5/0,2
	$Гр_7$	17,0/0,4
	$Вр_8$	43,5/0,25
	$Вр_9$	43,5/0
	$Гр_{10}$	25,5/0,8
	$Гр_{11}$	13,0/0
	$Гр_{12}$	3,0/0
	$Гр_{13}$	3,0/0,45

4. Выводы

По результатам обследования проведена оценка технического состояния несущих конструкций входного блока и блока 1 подземного многофункционального общественного центра:

1. На верхнем уровне на потолке на нижней стороне плит перекрытия обнаружены диагональные трещины, наибольшая ширина раскрытия трещин в ячейках между осями Д-Ж/3-4, 4-5, 5-6, 6-7, Г-Д/2-3, 3-4, 4-5, В-Г/1-2, 2-3, 5-6, где она достигает величины 0,30-0,50 мм.

2. Предложена интерполированная поверхность плит перекрытия верхнего яруса здания.

3. Ширина раскрытия трещин в плитах перекрытия при первичном обследовании здания в среднем составляет 0,19 мм. Ширина раскрытия трещин в главных ригелях покрытия при первичном обследовании здания в среднем составляла 0,29 мм. Ширина раскрытия трещин во второстепенных ригелях покрытия при первичном обследовании здания в среднем составляла 0,16 мм.

4. Предложена эффективная методика проведения геодезических наблюдений за прогибами несущих конструктивных элементов здания, плит перекрытия, главных и второстепенных ригелей, с помощью лазерного тахеометра с учетом расположения в предгорной местности со сложными инженерно-геологическими характеристиками.

5. В соответствии с требованиями действующих строительных норм уникальные подземные сооружения, расположенные в сложных инженерно-геологических условиях в зоне сейсмических сдвигов с энергетическим классом 4-5, конструктивные элементы с трещинами шириной раскрытия от 0,30 мм и более подлежат усилению.

Усиление железобетонных несущих элементов выполняется с целью повышения прочности и восстановления эксплуатационной пригодности конструкций. Усиление железобетонных несущих конструкций подземного сооружения рекомендуется проводить наклеиванием на нижнюю часть плит перекрытия на нижнюю поверхность главных и второстепенных балок предварительно напряженных лент ламината или путем наращивания высоты плиты покрытия с предварительным приподнятием ячейки с поврежденными конструкциями телескопическими стойками на величину прогиба элементов. Результаты по научно-исследовательской работе по усилению несущих железобетонных конструкций здания будут освещены в следующих публикациях авторов.

Список литературы

1. СНиП РК 2.03-30-2017 Строительство в сейсмических зонах. Алматы, 2018 г.
2. РДС РК 1.03.-XX-20XX.
3. СП 11-104-97 Инженерно-геодезические изыскания для строительства
4. СНиП 2.01.09-91 Здания и сооружения на подрабатываемых территориях и просадочных грунтах.
5. СНиП 2.02.01-83 Сооружения и устройства систем защиты горных выработок, зданий и сооружений от подземных вод.
6. СНиП РК 3.02-05-2010 «Автоматизированная система мониторинга зданий и сооружений».
7. Лапин В.А., Ержанов С.Е. Методологические основы использования станций инженерно-сейсмометрической службы на зданиях // Сейсмостойкое строительство. Безопасность сооружений. 2018. № 4. С. 44-49.
8. Фельдман В.Д., Мережко Л.М. Методика геодезического мониторинга технического состояния высотных и уникальных зданий и сооружений. - М.: ООО «Тектоплан», 2009, 80 с.
9. Марфенко С.В. Геодезические работы по наблюдению за деформациями сооружений. Учебное пособие. М.: МИИГАиК, 2004, 36 с;
10. Гридчин А.Н. Исследование осадок инженерных сооружений методом случайных функций // Труды НИИГАиК. – 1967. – Т. 20. – С. 45–57.
11. Гуляев Ю.П. Определение закономерностей развития величины и скорости посадки основания здания // Инженерно-строительные изыскания. – М.: Стройиздат, 1975а. – С. 3–8.
12. Шеховцов Г. А. Современные геодезические методы определения деформаций инженерных сооружений: монография; Нижегород. гос. архит.-строит. ун-т –Н.Новгород: ННГАСУ, 2009. – 156 с.

Ғимараттар мен құрылыстардың деформацияларын және техникалық жағдайын аспаптық бақылау әдістемесі

М.А. Сайлығараева^{1*}, Н.Н. Нысанбай², Ж.Д. Байгурин¹

¹Satbayev University, Алматы, Қазақстан

²ТОО "GeoConstruct Almaty", Алматы, Қазақстан

E-mail: *mariya_23365@mail.ru, nmalikov03@bk.ru, baygurin@mail.ru)

Аңдатпа. Мақала жер асты көпфункционалды қоғамдық орталықтың бірегей ғимаратының жоғарғы деңгейіндегі жүк көтергіш конструкциялардағы, едендік тақталардағы, негізгі және қосалқы тіректердегі ауытқуларға аспаптық бақылау жүргізудің тиімді әдістемесін құру мәселелерін шешуге бағытталған. күрделі инженерлік-геологиялық сипаттамалары бар және жер бетінің қозғалыстарының энергетикалық класы 4-5-ке тең тау етегі аймағы.

Техникалық жағдайды мерзімді бақылау ғимараттың құрылымдық элементтеріндегі сыни ауытқуларды уақтылы анықтауға ықпал етеді және құрылымның қауіпсіз жұмысын қамтамасыз етеді. Ғимараттың шөгінді қозғалыстарын мерзімді бақылауды жүзеге асыру және аумақтық орналасуын, инженерлік құрылымын ескере отырып, шөгінділердің сандық мәндерін анықтау үшін ғимараттың жүк көтергіш құрылымдық элементтерінің ауытқуларын тригонометриялық нивелирлеуді жүргізу әдісі ұсынылады. және геологиялық жағдайлар, ауданның сейсмикалық деңгейі және сыртқы ортаның әсері.

Кілт сөздер: геодезиялық бақылау, нивелирлеу, шөгінді белгілері, еден плиталары, ригель.

Methodology of instrumental observations of deformations and technical condition of buildings and structures

M.A Sailygarayeva*, N.N. Nysanbai², Zh.D. Baigurin¹

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

²TOO "GeoConstruct Almaty", Almaty, Kazakhstan

E-mail: *mariya_23365@mail.ru, nmalikov03@bk.ru, baygurin@mail.ru)

Annotation. The article is aimed at solving the problems of creating an effective methodology for conducting instrumental observations of deflections in load-bearing structures, floor slabs, main and secondary crossbars of the upper level of a unique underground building in the conditions of a foothill area with complex engineering and geological characteristics, with an energy class of movements of the earth's surface equal to 4- 5.

Periodic observations of the technical condition contribute to the timely identification of critical deviations in the structural elements of the building and ensure the safe operation of the structure. A method for carrying out trigonometric leveling of deflections of load-bearing structural elements of a building is proposed to carry out periodic observations of the sedimentary movements of the building and determine the quantitative values of sedimentation, taking into account the territorial location, engineering and geological conditions, seismicity of the area and the influence of the external environment.

Key words: geodetic monitoring, leveling, sediment marks, floor slabs, crossbar.

References

1. SNiP RK 2.03-30-2017. Stroitel'stvo v seismicheskikh zonah [System of regulatory documents in construction of RK 2.03-30-2017. Construction in seismic zones], Almaty, 2018 [In Russian].
2. SP RK 1.04-110-2017. Obsledovanie, ocenka tekhnicheskogo sostoyaniya i seismousilenie zdaniy i sooruzhenij [System of regulations of RK 1.04-110-2017. Inspection, assessment of technical condition and seismic strengthening of buildings and structures], Astana, 2017 [In Russian].
3. SP 11-104-97 Inzhenerno-geodezicheskie izyskaniya dlya stroitel'stva [System of regulatory documents in construction. Engineering and geodetic surveys for construction], Almaty, 2017 [In Russian].
4. SP 21.13330.2012. Zdaniya i sooruzheniya na podrabatyvaemyh territoriyah i prosadochnyh gruntah. Moskva [System of regulations of RK 21.13330.2012. Buildings and structures in mined areas and subsidence soils], Moscow, 2013 [In Russian].
5. Posobie po proektirovaniyu fundamentov na estestvennom osnovanii pod kolonny zdaniy i sooruzhenij k SNiP 2.02.01-83. Moskva [Design Guide on a natural foundation under the columns of buildings and structures to the System of regulatory documents in construction 2.02.01-83], Moscow, 1989 [In Russian].
6. SNiP RK 3.02-05-2010. Avtomatizirovannaya sistema monitoringa zdaniy i sooruzhenij [System of regulatory documents in construction of RK 3.02-05-2010. Automated monitoring system for buildings and structures], Almaty, 2010 [In Russian].
7. Lapin V.A., Yerzhanov S.Y. Metodologicheskie osnovy ispol'zovaniya stancij inzhenernoseismometricheskoy sluzhby na zdaniyah [Methodological fundamentals for using stations of engineering seismometric service on buildings] // Seismostoitoe stroitel'stvo. Bezopasnost' sooruzhenii [Earthquake engineering. Constructions safety], 2018, no. 4, pp. 44-49. [In Russian].
8. Fel'dman V.D., Merezhko L.M. Metodika geodezicheskogo monitoringa tekhnicheskogo sostoyaniya vysotnyh i unikal'nyh zdaniy i sooruzhenij [Methodology for geodetic monitoring of the technical condition of high-rise and unique buildings and structures]. MDS 13-22.2009/000 «TEKTOPLAN». - Moscow. 2010, - 76 p. [In Russian].
9. Marfenko S.V. Geodezicheskie raboty po nablyudeniyu za deformatsiyami sooruzhenij. Uchebnoe posobie [Geodetic work to monitor deformations structures. Tutorial], Moscow State University of Geodesy and Cartography, 2004, 36 p.
10. Gridchin A.N. Issledovanie osadok inzhenernyh sooruzhenij metodom sluchajnyh funkciy [Study of sediments of engineering structures using the method of random functions] // Trudy NIIGAiK [Proceedings of Novosibirsk State University of Geodesy and Cartography] - 1967. - p. 45-57.

11. Gulyaev YU.P. Opredelenie zakonornostej razvitiya velichiny i skorosti posadki osnovaniya zdaniya [Determination of patterns of development of the magnitude and rate of subsidence of the foundation of a building]// Inzhenerno-stroitel'nye izyskaniya [Engineering and construction surveys]. – Moscow, Strojizdat, 1975a. – p. 3–8.

12. SHekhovcov G. A. Sovremennye geodezicheskie metody opredeleniya deformatsij inzhenernyh sooruzhenij: monografiya; Nizhegorod. gos. arhit.-stroit. un-t [Modern geodetic methods for determining deformations of engineering structures: monograph; Nizhny Novgorod. state architect-builds university], Nizhny Novgorod. 2009. – 156 p.

Сведения об авторах:

Каз.:

Сайлығараева М.А. – «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының докторантты, Satbayev University, Сатпаев көш., 22, Алматы, Қазақстан, +7 707 454 67 08, mariya_23365@mail.ru.

Нысанбай Н.Н. – “GeoConstruct Almaty” ЖШСте инженер-геодезист, Даналық көш., 20, Алматы, Қазақстан, +7 747 427 62 96, nmalikov03@bk.ru.

Байғурин Ж.Д. – техникалық ғылым докторы, «Маркшейдерлік іс және геодезия» кафедрасының профессоры, Satbayev University, Сатпаев көш., 22, Алматы, Қазақстан,+7 705 528 70 43, baygurin@mail.ru.

Рус.:

Сайлығараева М.А. – докторант кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Satbayev University, ул. Сатпаева, 22, Алматы, Казахстан, +7 707 454 67 08, mariya_23365@mail.ru.

Нысанбай Н.Н. – инженер-геодезист в ТОО “GeoConstruct Almaty”, ул. Даналык, 20, Алматы, Казахстан, +7 747 427 62 96, nmalikov03@bk.ru.

Байғурин Ж.Д. – д.т.н., профессор кафедры «Маркшейдерское дело и геодезия», Satbayev University, ул. Сатпаева, 22, Алматы, Казахстан, +7 705 528 70 43, baygurin@mail.ru.

Англ.:

Sailygarayeva M. – PhD student of the Department of “Surveying and Geodesy”, Satbayev University, 22 Satpayev st., Almaty, Kazakhstan, +7 707 454 67 08, mariya_23365@mail.ru.

Nysanbai N. – engineer-surveyor at “GeoConstruct Almaty” LLP, 20 Danalyk st., Almaty, Kazakhstan, +7 747 427 62 96, nmalikov03@bk.ru.

Baigurin Zh. – D. Sc., Professor of the Department of “Surveying and Geodesy”, Satbayev University, 22 Satpayev st., Almaty, Kazakhstan, +7 705 528 70 43, baygurin@mail.ru.

Б. Куспангадиев¹, К. Самойлов^{1*}, О. Приемец²

¹Институт Архитектуры и Строительства им.Т.К.Басенова, Satbayev University, Алматы, Казахстан

²Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан
E-mail: samconio@mail.ru

Своеобразие развития композиции мавзолея-ханака Ходжи Ахмеда Яссави в Туркестане

Аннотация. Проблема сохранения и оптимальной демонстрации местным жителям и туристам памятников архитектуры представляет постоянный научный и общественный интерес. В диалектическом взаимодействии сосуществуют две концепции: консервация для сохранения памятника в том виде, в каком он дошёл до наших времён, и реставрация памятника с восстановлением утраченных деталей. В каждом конкретном случае принимается то или иное решение, которое находит как сторонников, так и противников. Одним из аспектов этой проблемы является отношение к зданиям, которые имеют длительные перерывы в своей истории в проведении строительных работ. Интересным примером такого памятника является мавзолей-ханака Ахмеда Яссави в Туркестане, который остался недостроенным. Учитывая его важность для самоопределения культуры современного Казахстана, представляется целесообразным рассмотреть вопрос о плане проекта, который остался нереализованным, а также о стадийности возведения самого здания. Особенно это интересно в связи акцентированием некоторых аспектов, часть из которых хотя и была включена в общедоступный научный обиход в 1930-1950-е годы, однако осталась без внимания и не откорректировала современную общераспространённую версию истории строительства мавзолея-ханака. Это касается в основном этапов строительства конца XIV в. и конца XVI в. Кроме этого, композиционный анализ выявил ранее неакцентированный факт о том, что не достроен не только главный портал здания, но и главный купол, который, судя по результатам анализа, предполагался двойным. Эти, некоторым образом инновационные результаты, позволяют значительно расширить перспективы дальнейших исследований выдающегося произведения.

Ключевые слова: мавзолей-ханака, реставрация, реконструкция, архитектура Казахстана, средневековая архитектура, проектный замысел, композиция.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-214-225

1. Введение

Мавзолей-ханака Ходжи Ахмеда Яссави в Туркестане (43°17'51" с.ш. 68°16'15" в.д.) занимает своеобразное место в истории архитектуры Центральной Азии. На протяжении своего многовекового развития он продемонстрировал как полную, так и частичную, как единовременную, так и последовательную реализацию различных, в том числе и грандиозных замыслов. Несмотря на незавершённое состояние он производит огромное впечатление, позволяющее ему на протяжении столетий сохранять положение важнейшего элемента культурной самоидентификации населения региона. Начав развитие с небольшого однокамерного мавзолея второй половины XII в., он к концу XIV в. превратился

в крупное многофункциональное здание, которое в процессе дальнейшей эксплуатации приобретало и успешно осуществляло всё новые и новые функции. Оригинальные формы этого комплекса и богатая история развития способствовали включению его в нынешнем веке в список Всемирного наследия ЮНЕСКО (объект № 1103).

История изучения этого здания насчитывает несколько столетий. Наиболее активный этап изучения начался во второй половине позапрошлого века. Наиболее известные труды по этой тематике были обобщены в нескольких изданиях [1, 2]. Среди них выделяются (в хронологической последовательности) исследования, посвящённые как самому памятнику, так и рассмотрению его в контексте средневековой архитектуры Центральной Азии: М.Массон, Б.Засыпкин, Л.Маньковская, Т.Басенов, Б.Туякбаева, Е.Смагулов, М.Туякбаев, Ф.Григорьев, А.Итенов, Б.Глаудинов, А.Ордабаев, Э.Байтенов, А.Туякбаева, Г.Абдрасилова, К.Самойлов, Б.Куспангалиев, Г.Садвакасова, А.Ахмедова и др. [3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15]. Несмотря на многовековое развитие комплекса, особое внимание привлекает период конца XIV в. Широко распространённая на данный момент версия истории основного этапа строительства выглядит следующим образом: «Строительству мавзолея-комплекса предшествовало разрушение построек XII–XIV вв., существовавших ранее на его территории. Первый этап строительства начался в 1389-1391 гг. и закончился в середине 90-х гг. XIV в. Высота здания достигла на главном портале 14,63 м, в казанлыке 12,8 м, в гурхане 11,8 м от дневной поверхности XIV в. [...] На втором этапе строительства, начавшегося, по-видимому, в 1397 г., были построены гладкие высотные части главного портала, купола казандыка и гур-ханы, превращено в мечеть помещение в северо-западном углу здания. Был усилен декоративный момент: купола главных залов покрыли изнутри ганчевыми сталактитами, боковые помещения – штукатуркой» [16]. Однако это описание не учитывает некоторые нюансы.

2. Методы

Для решения акцентированных в статье вопросов был использован общенаучный метод от наблюдений через обобщения к практике. В контексте этого метода было проведено углублённое изучение имеющихся литературных источников, проанализированы изображения памятника на фотографиях и чертежах различных времён, учтён опыт личных осмотров комплекса в 1984-1986 и 2022 годах. Это позволило сделать несколько своеобразных выводов, детализация которых требует дальнейших исследований.

3. Результаты и обсуждение

Анализ ранее проведённых исследований позволяет сделать ряд уточнений, дополнений и изменений в наиболее распространённой версии развития комплекса мавзолея-ханака. Так, например, Ю.А.Ёлгин, рассматривая исследовательски-реставрационные работы 1950-х годов, проводившиеся Т.Ш.Курумидзе и Б.Н.Засыпкиным, обратил внимание на сделанный тогда оригинальный вывод: «строилось не целиком новое здание, до этого существовала другая постройка с внутренним двориком (или группа построек, образующая дворик), перекрытым позже куполом казандыка; причём более древние стены имеет мечеть [...] главный южный портал с минаретами пристроен к ранее существовавшему зданию; для установки купола казандыка стены бывшего дворика были усилены обкладками, и коридоры-проходы в этих стенах были сужены» [1]. И далее «комплекс «Ахмеда Ясеви» существовал до работ 1397-1399 гг. и Тимур дал распоряжение о постройке портала и возведении купола над двориком» [1]. Эти умозаключения середины XX в. были частично подтверждены исследованиями, проведёнными в конце столетия [10].

Авторский анализ конфигурации современного плана здания показывает правомерность этих выводов. Коридоры между помещениями эксплуатационно неудобны из-за суживающих их в различных местах разно-размерных пилостр и обкладок.

Нерегулярность в расположении пилястр и частичных обкладок стен в двухэтажных коридорах (которые ранее были открытыми проходами между отдельными зданиями), их разно-размерность, указывают на спонтанно появлявшиеся местные усиления стен. Эти усиления делались в местах, предположительно вызывавших у строителей опасения в прочности здания в результате достройки. Под эти элементы подводились дополнительные фундаменты. Это стандартный приём усиления конструкций, который с древности и до сих пор используется в строительстве при достройке существующих зданий.

Если бы здание строилось сразу целиком, то коридоры между отдельными помещениями были бы удобнее и шире, а пилястры имели бы регулярное расположение и единообразные размеры. У всех стеновых конструкций были бы одинаковые по материалу фундаменты. Даже, если бы частично использовались фундаменты ранее существовавших и снесённых перед новостройкой зданий, то поверх них был бы выполнен объединяющий их с новыми фундаментами слой (его наличие археологическими работами не выявлено). Это также многовековой, постоянно до сих пор используемый приём.

Дополнительным аргументом в пользу гипотезы разновременного строительства служит наличие в каждом блоке самостоятельной лестницы на второй уровень. При единовременном строительстве такое количество лестниц эксплуатационно излишне. Особенно учитывая совместную эксплуатацию блоков, не выделяемых в изолированно функционирующие объекты. Наличие самостоятельной лестницы в каждом блоке – это современное требование отечественных нормативов по сейсмостойкому строительству. Оно подразумевает и наличие сейсмических швов между блоками. Таких швов в мавзолее-ханака нет, а места стыковки разновременных частей здания на фасадах скрыты сплошной облицовкой. Кроме того, сейсмичность территории города Туркестан, по современным оценкам, 6 баллов, а сейсмичность территории города Самарканд (места основных построек эпохи Тимура) – 8 баллов. Однако в самаркандских сооружениях рассматриваемой эпохи таких, целенаправленно сделанных, сейсмшвов практически нет. А самаркандские памятники имеют значительные повреждения от землетрясений. Сами размеры мавзолее-ханака (46.5 x 65.5 м) приблизительно соответствуют современным требованиям по размеру единого блока. Если бы строители эпохи Тимура предполагали наличие критической сейсмоактивности территории, то они бы наверняка сделали шов между основным объёмом здания и порталом, который более массивен и имеет значительно большую, чем прилегающие части здания, высоту. Все имеющиеся в мавзолее-ханака трещины и деформации не являются результатом сейсмической активности территории, которая очень низка. Можно предположить, что помещения, в которых располагаются лестницы имели функцию облегчения массива стены для более равномерного распределения нагрузки на фундамент. Но это можно сделать и просто сформировав помещения на каждом уровне без устройства лестниц. Этот вопрос также требует дополнительного изучения.

Соответствующая предположению схема разновременного развития композиции мавзолее-ханака с учётом перспективы завершения строительства приведена на рисунке 1.

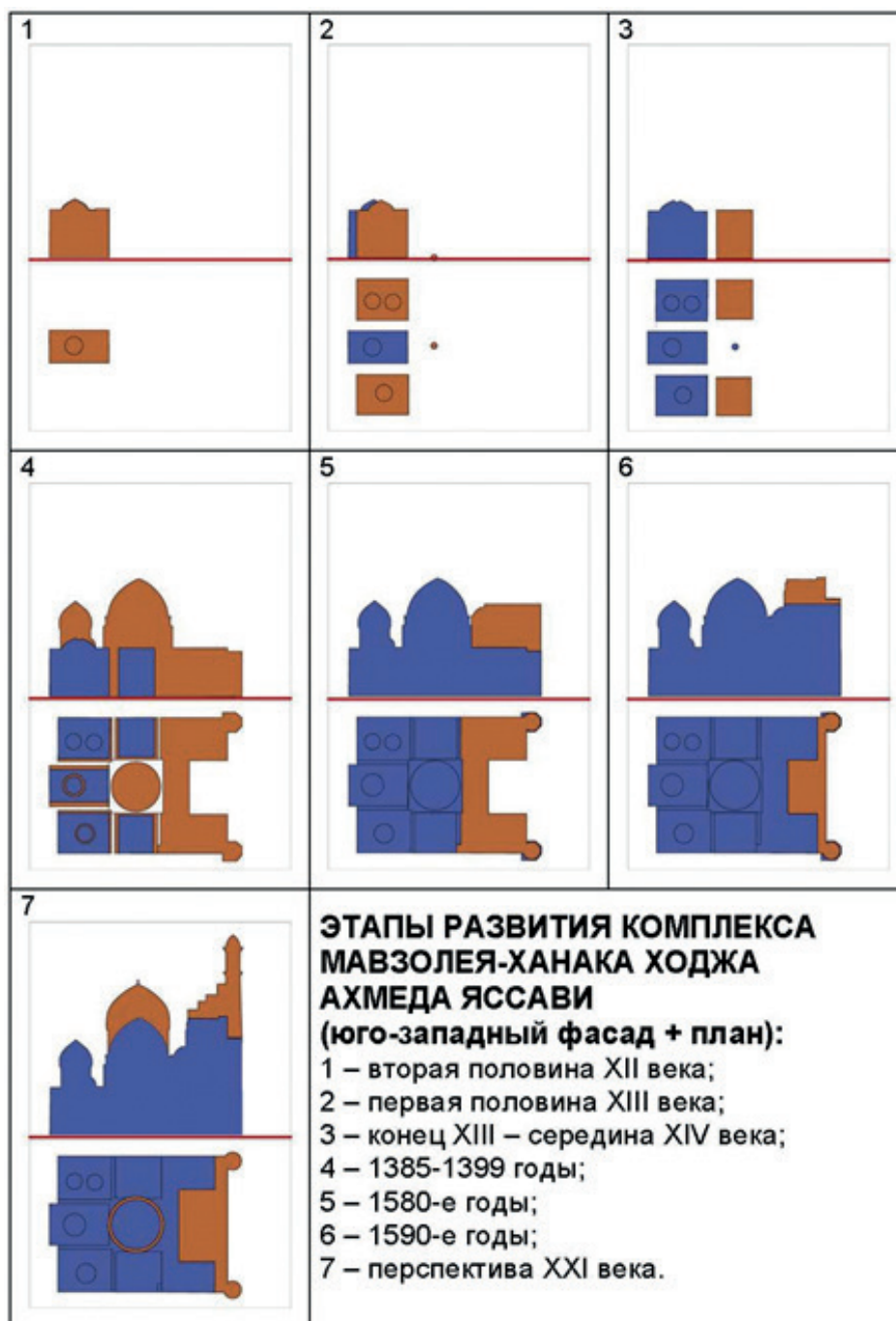


Рисунок 1. Этапы развития композиции мавзолея-ханака Ходжа Ахмеда Яссави (юго-западный фасад + план – чертёж): 1 – вторая половина XII в.; 2 – первая половина XIII в.; 3 – вторая половина XIII – середина XIV вв.; 4 – 1385-1399 годы; 5 – 1580-е годы; 6 – 1590-е годы; 7 – перспектива XXI в.

То есть эволюция здания выглядит следующим образом. Приблизительно с V в. [10] на этом месте в городе Яссы начинает формироваться некрополь. Во второй половине XII в. на некрополе появляется купольный мавзолей Ходжи Ахмеда. Он, предположительно, имеет однокамерный «караханидский тип» с глубоким стрельчато-арочным порталом. В XIII в. мавзолей становится частью мемориально-религиозного комплекса, в который,

кроме него, входят симметрично построенные с юго-западной и северо-восточной сторон здания, ставшие в последствии мечетью и Большим дворцом. Эти здания также имеют купольные венчания. Купола у зданий одинарные. Высота этих зданий одинакова с высотой мавзолея. Учитывая эксплуатационные потребности образовавшегося комплекса, с юго-восточной стороны строится колодец.

Во второй половине XIII в. – первой половине XIV в., формируя традиционный для эпохи и региона двор с колодцем, появляются Малый дворец и библиотека. Вопрос для дальнейших исследований заключается в том, были ли эти здания изначально двухэтажными или второй этаж, выравнивающий их по высоте с мавзолеем, мечетью и Большим дворцом был надстроен позднее.

С 1385 г. начинается новый этап. Первоначально, по приказу Тимура, ранее несколько спонтанно функционировавший мемориально-религиозный комплекс организационно оформляется в качестве суфийского монастыря. В 1388 г. комплекс переживает разграбление и, предположительно, частичное разрушение. Похищенное удалось полностью вернуть к 1395 г., благодаря победоносным походам Тимура. На основании предположений 1920-х годов [3] и исследований 1950-1980-х годов [1] считается, что с 1389 г. начинаются активные ремонтно-восстановительные работы в обветшавших постройках и новое строительство. Руководителем стройки назначается Мавлян Убайдулла Садр. Тимур посещает город Яссы осенью 1397 г. и своим приказом определяет, как организационно-финансовые аспекты дальнейшей работы комплекса, так и фиксирует основные пространственные параметры здания. Монастырь (комплекс зданий) типологически превращается в мавзолей-ханака (единое здание). В этот период проводятся ранее описанные усиления стен и перекрытия в проходах между отдельными зданиями, которые превратили их в двухуровневые коридоры; начинается строительство замыкающей двор с юго-востока порталной части; двор перекрывается одиночным куполом; возводятся внешние купола над мавзолеем и мечетью; выполняется единообразная облицовка фасадов (за исключением юго-восточной части) и куполов (за исключением главного купола и куполов над Большим дворцом).

Здесь возникает вопрос о причинах невыполнения облицовки главного купола. Проведённый авторами анализ позволяет предположить, что проектный замысел подразумевал возведение не одинарного, а двойного купола. Это обоснуется тем, что в исторически и регионально близких аналогах – например, мавзолеем Гури-Эмир (купол диаметром около 15 м), в котором также не достроен портал, и Главная мечеть Биби-ханым (купол диаметром около 18 м) в Самарканде – купола двойные. Кроме того, в самом комплексе Ходжа Ахмеда над мавзолеем и мечетью были именно в этот период возведены внешние купола, превратившие ранее существовавшие одинарные купола в двойные. На это указывает и композиционный анализ фасадов – характерные для эпохи и региона купола соответствуют по высоте главному portalу или даже возвышаются над ним. Соответственно, при возведении главного портала мавзолей-ханака на проектную высоту (приблизительно 50,4 м портал; 67,2 м угловые башни) и купол должен быть значительно выше существующего и иметь соответствующую конструкцию. Это схематически показано на рисунке 2.

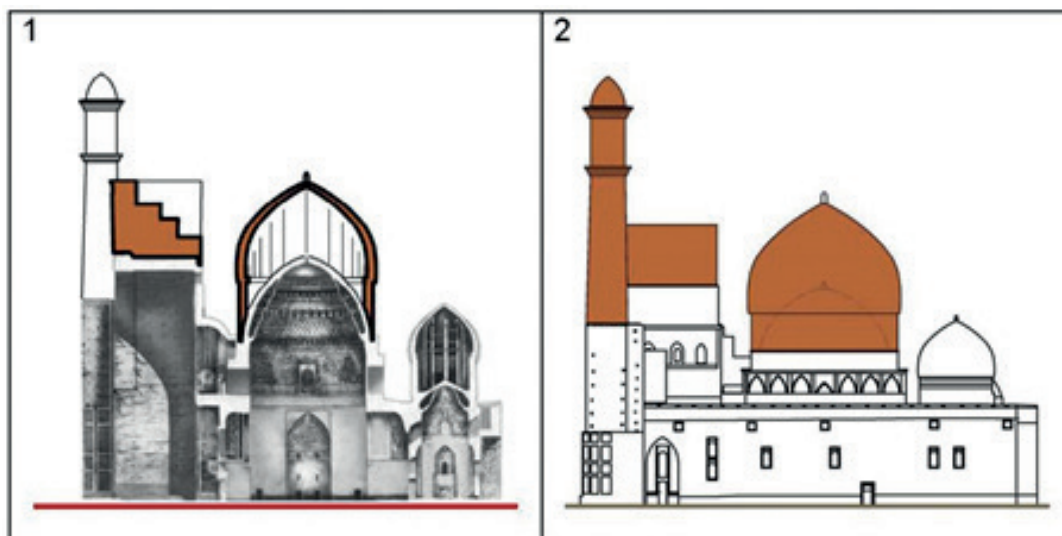


Рисунок 2. Мавзолей-ханака Ходжа Ахмеда Яссави, Туркестан (перспектива достройки): 1 – разрез (чертёж); 2 – северо-восточный фасад (чертёж).

Активные строительные работы этого этапа сокращаются в 1399 году, а в 1405 г. полностью прекращаются. Несмотря на сложную политическую обстановку в регионе, следующие полтора века здание успешно функционирует, обеспечивая проведение мемориально-культурных церемоний и временное размещение паломников. Соответственно эпизодически проводятся и мелкие ремонтные работы. Учитывая сформировавшееся восприятие мавзолея-ханака в качестве духовного центра многонационального региона, город Яссы начинают называть Туркестаном. Приблизительно с начала XVI в. некоторые помещения здания начинают использоваться как склепы для могил выдающихся государственных и общественных деятелей.

Следующий этап строительства начинается в конце XVI в. при Абдулла-хане Втором. Широко распространённое мнение, что в этот период была только сомкнута арка главного портала и его верхняя часть увенчана зубцами, было поставлено под сомнение в 1920-е годы: «Граница, где кончается первоначальная кладка и начинается достройка XVI века, точно пока не прослежена, но по целому ряду наблюдений она лежит около уровня гранёных частей минарета» [3]. Кстати, чуть выше этого уровня заканчиваются и трёхчетвертные колонны обрамления нижней части порталной арки, фиксируя уровень, на котором закончилась кладка в порталной нише на рубеже XIV-XV вв. При этом все остальные угловые трёхчетвертные колонны (на облицованных фасадах) заканчиваются под фризом. Если это предположение верно, то вся верхняя часть Главного портала с цилиндрическими угловыми башнями – «новодел» этого периода. То есть похожесть композиции портала мавзолея-ханака Ходжа Ахмеда Яссави на Главный портал дворца Ак-Сарай в Шахрисябзе, на которую указывалось [3], появилась только в XVI в., и проектным замыслом XIV века не предусматривалась. Значит замысел XIV в. подразумевал похожесть на портал Главной мечети Биби-Ханым в Самарканде с угловыми башнями призматического сечения по всей высоте (это здание сейчас почти полностью восстановлено из руин на основе проектного предложения Ш.Е.Ратия [17], опубликованного в 1950 г.).

Скорее всего в 1590-е годы продолжение строительства мавзолея-ханака Ходжа Ахмеда Яссави также, по неизвестным пока причинам, было спешно прекращено. На это указывает изменение типа кладки в верхней части арки и неаккуратность в выполнении работ – ось арки оказалась существенно смещена вправо относительно основной оси здания, а сама кладка с правой стороны просела. Наверно причиной послужило обострение военных противостояний в регионе, ибо здание целенаправленно, в ускоренном режиме,

превращали из мемориально-культурного сооружения в крепость с возможностью дозора и обороны с верхних частей стен. Само по себе ускорение работ по сведению арки объяснимо именно военными нуждами – формировался «боевой ход» от одной угловой башни к другой. Оставленные в гнездах брёвна строительных лесов также свидетельствуют о «внеплановом» прекращении строительства. Кстати, в последующие периоды, вплоть до середины XIX в., оборонная функция доминировала в эксплуатации здания, которое стало частью городских укреплений, а некоторые помещения стали использоваться для складирования продовольственных и военных припасов. Соответственно, период конца XVI в. представляется возможным разделить на два этапа – 1580-е годы и 1590-е годы. Схема главного фасада с выделением участков кладки различных периодов показана на рисунке 3.



Рисунок 3. Расположение кирпичной кладки различных периодов в главном, юго-восточном фасаде мавзолея-ханака Ходжа Ахмеда Ясави – чертёж (1390-е годы; 1580-е годы; 1590-е годы; перспектива XXI в.).

В XVII-XVIII вв. дополнительной функцией здания стало использование его в качестве государственной резиденции. По мере очередного усложнения политической ситуации в регионе город Туркестан стал всё чаще становиться ареной боёв. В результате здание в процессе военных конфликтов подвергалось частичному затоплению (1846 г.), артиллерийскому обстрелу (1864 г) и т.п., что отрицательно сказывалось на его сохранности. К последней трети XIX в. военные конфликты прекратились. Редко проводившиеся ремонты решали частные проблемы находящегося в аварийном состоянии здания, которое из-за опасности саморазрушения даже планировалось снести в 1870 г. Однако, учитывая огромное культурно-историческое значение памятника, здание сохранили и приступили к его активному обследованию и восстановлению. В 1872 г. была выполнена расчистка захламлённых помещений и начался ремонт. Подвижки грунта, возникшие по разным причинам, привели к необходимости укрепить контрфорсами некоторые участки юго-западной и северо-западной стен (1886-1887 гг.). Активные исследовательские и реставрационные работы начались с 1920-х годов и продолжаются по сей день. В процессе этих работ были укреплены железобетоном фундаменты, переложены некоторые участки стен и сводов, стянуты стальными скобами треснувшие участки стен, усилены конструкции некоторых куполов, упрочен стальными тросами архивольт порталной арки, выполнены кольцевые стяжки с внешней стороны купола над мечетью, восстановлена разрушившая облицовка на стенах и куполах, выполнена ранее не существовавшая внешняя облицовка

главного купола, проведён ряд других мероприятий. По воспоминаниям [13], в 1975 г. опять возникла, но не была реализована идея достроить портал. В 1997 г. в геометрическом центре квадрата плана центрального помещения был обнаружен засыпанный в Средневековье колодец (диаметр 0,9-1,0 м). Соответственно было сделано подтверждено предположение, что на этом месте до середины четырнадцатого века существовал комплекс двенадцатого века. Смысловым центром этого комплекса наверно был небольшой мавзолеем Ходжи Ахмеда. Перед ним был обширный двор с колодцем.

Несмотря на постоянно проводимые работы здание по-прежнему вызывает опасения с точки зрения прочности и устойчивости, так как продолжается в том числе и аварийное намокание конструкций от грунтовой и атмосферной влаги. Решить основные проблемы обеспечения прочности и устойчивости мавзолея-ханака Ходжа Ахмеда Яссави может полное завершение строительства здания на основе проектного замысла XIV в. [15]: достроить и облицевать главный портал, возвести и облицевать внешний купол над центральной частью, облицевать остальные купола, не имеющие облицовки, выполнить другие необходимые работы. Специальное исследование позволит определить объём работ и очерёдность их исполнения. Опыт таких работ есть, в том числе и с достройкой или восстановлением зданий в формах, историческая достоверность которых вызывает дискуссию, но позволяет стать активной частью современной культуры (мавзолеем Карахана, 1906 г.; мавзолеем Айша-Биби, 2005 г.; мавзолеем Рабиги Султан Бегим, 2023 г.). Часто упоминаемая надпись на одном из сооружений эпохи Тимура гласит: «Если Вы сомневаетесь в нашем величии, то посмотрите на Наши постройки». Завершение строительства мавзолея-ханака, являющегося существенной частью национально-культурной идентичности Казахстана, позволит представить во всём величии деяния предков и продемонстрировать преемственность культуры.

4. Выводы

С середины позапрошлого века и поныне в реставрационной практике (включая казахстанскую) диалектически сосуществуют два подхода. Первый подход восходит к Э.Виоле-ле-Дюку, считавшему целесообразным полное восстановление памятника даже если получившаяся в результате «идеальная», по сути, форма дискуссионна с точки зрения исторической достоверности. Второй подход связан с именем Дж.Рёскина. Этот подход ставит во главу угла максимальное сохранение, по сути консервацию исторически сложившегося состояния памятника. В конкретных условиях эти подходы вполне совместимы. Например, уже упоминавшийся мавзолеем Айша-Биби с середины прошлого века находился в специально сооружённом для его консервации павильоне, и имел ограниченный доступ для туристов. Проведённая в начале нынешнего века реконструкция воссоздала «идеальную форму» и вернула здание в современный градостроительный контекст со свободным доступом.

В мавзолее-ханакане необходимо определить целесообразность сохранения «исторических шрамов». Это прогиб правого архивольты порталной арки и усиливающие контрфорсы на юго-западном и северо-западном фасадах. Когда фундаменты укрепляются под всем зданием, контрфорсы перестают иметь функциональное назначение. Также желательно переделать порталную арку, так как прогиб правого архивольты является очевидной аварийной деформацией. Наличие современных стальных тросовых стяжек внутри арки свидетельствует об аварийном состоянии этого сооружения. Возведение портала на проектную высоту станет одним из способов укрепления этой арки. Соответственно, реализация идеи проектного замысла XIV в. из чисто умозрительной задачи переходит в разряд конструктивно необходимой меры по сохранению прочности памятника архитектуры. Завершение строительства мавзолея-ханака Ходжи Ахмеда Яссави решит основные проблемы с его сохранностью и обеспечит увеличение его воспитательного воздействия.

Конечно, мы можем оставить здание в его “историческом виде”, продолжая при этом консервационные и реставрационные работы. Но исследование того, как мог бы выглядеть мавзолей ханака, если бы он был завершён в начале XV в., само по себе представляет определённый научный и общекультурный интерес. Это формирует перспективы данного исследования.

Подтверждения

Авторы выражают благодарность: Национальной библиотеке Республики Казахстан, Библиотеке Конгресса США, Британской библиотеке, Научной электронной библиотеке диссертаций и авторефератов «disserCat», чьи фонды были использованы для подбора литературы; Интернет-ресурсу «Google», использованному для поиска текстов и изображений; рецензентам, которые рассмотрели нашу работу и рекомендовали статью к публикации в «Вестнике Евразийского Национального Университета имени Л.Н.Гумилева».

Список литературы

1. Ёлгин Ю.А. Археологические и историко-архитектурные исследования мавзолея Ходжи Ахмеда Ясави: Вторая половина XIX в. – середина 1950-х годов: (Очерки и материалы). – Алматы, 2013. – 225 с.
2. Bibliographies (Last modified: 30 January 2014). – URL: <https://www.oxfordbibliographies.com/view/document/obo-9780199920105/obo-9780199920105-0028.xml?rskey=JJsodK&result=142> (дата обращения: 30.10.2023).
3. Массон М.Е. Мавзолей Ходжа Ахмеда Ясеви. – Ташкент: Типолит №2 Узполиграфтреста, 1930. – 22 с.
4. Засыпкин Б.Н. Архитектура Средней Азии. – Москва: Издательство Академии архитектуры СССР, 1948. – 159 с.
5. Маньковская Л.Ю. Исследование архитектурного комплекса – мавзолея Ахмада Яссави в городе Туркестане и вопросы его реставрации: Автореферат диссертации на соискание учёной степени кандидата исторических наук. – Ташкент, 1963. – 18 с.
6. Маньковская Л.Ю. Типологические основы зодчества Средней Азии. IX – начало XX в. - Ташкент: «Фан», 1980. – 84 с.
7. Басенов Т. Комплекс мавзолея Ахмеда Ясави. - Алматы: Өнер, 1982. – 71 с.
8. Туякбаева Б.Т. Эпиграфический декор архитектурного комплекса Ахмеда Ясави. – Алма-Ата: Өнер, 1989. – 176 с.
9. Свод памятников истории и культуры Казахстана. – Алма-Ата: Главная редакция «Казак совет энциклопедиясы», 1994. – Т.І: Чимкентская область. – 368 с.
10. Смагулов Е.А., Туякбаев М.К. Новое в ранней истории некрополя г. Туркестана // ИМНАН РК: Сер. общественных наук. – 1998. – №1. – С.18-25.
11. Смагулов Е., Григорьев Ф., Итенов А. Очерки по истории и археологии средневекового Туркестана. – Алматы: Ғылым, 1999. – 232 с.
12. Глаудинов Б. История архитектуры Казахстана (с древних времён до начала XX века). - Алматы: КазГАСА, 1999. – 295 с.
13. Ордабаев, А. Проблемы изучения, охраны и реставрации памятников архитектуры на примере Мавзолея Ходжи Ахмеда Ясави / Видеолекция, 09 марта, 2017; запись С.Ромашинной. – URL: <https://vlast.kz/gorod/22023-problemy-izucenia-ohranu-i-restavracii-pamatnikov-arhitektury-na-primere-mavzolea-hodzi-ahmeda-asavi.html> (дата обращения: 30.10.2023).
14. Baitenov, E., Tuyakayeva, A., Abdrassilova, G. Medieval mausoleums of Kazakhstan: Genesis, architectural features, major centres. *Front. Archit. Res.* 2019, 8. – P. 80–93. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2018.11.001> (дата обращения: 30.10.2023).
15. Samoilov, K., Kuspangaliyev, B., Sadvokasova, G., Akhmedova, A. The Version of the Composition of the Mausoleum-Khanaka Khoja Ahmed Yassawi Main Facade in Turkestan. *Heritage* 2023, 6. – P. 1344-1377. – URL: <https://doi.org/10.3390/heritage6020074> (дата обращения: 30.10.2023).

16. Муминов, А. Эпиграфические надписи мавзолея Ходжа Ахмеда Яссави как источник по истории Казахстана, QOJALAR.KZ – Tarikh. Тань, Тань 12.09.2019. – URL: <https://kozhal.kz/20197571-epigraficheskie-nadpisi-mavzoleya-hadzha-ahmada-jasavi-kak-istochnik-po-istorii-kazahstana> (дата обращения: 30.10.2023).

17. Ратия, Ш.Е. Мечеть Биби-Ханым в Самарканде: исследования и реставрационные эксперименты. – Москва: Государственное издательство архитектуры и градостроительства, 1950. – 108 с.

Түркістандағы Қожа Ахмет Яссауи ханақа-кесенесі композициясының даму ерекшелігі

Б.У. Куспанғалиев¹, К.И. Самойлов^{1*}, О.Н. Приемец²

¹Аффилиирлеу (Т.К.Басенов атындағы Сәулет және Құрылыс институты, Сәтбаев Университеті, Алматы, Қазақстан)

²Аффилиирлеу (Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан)

Аңдатпа. Жергілікті тұрғындар мен туристерге сәулет ескерткіштерін сақтау және оңтайлы көрсету мәселесі үнемі ғылыми және қоғамдық қызығушылық тудырады. Диалектикалық өзара әрекеттесуде екі ұғым қатар өмір сүреді: ескерткішті біздің заманымызға дейін сақтау үшін сақтау және жоғалған бөлшектерді қалпына келтіре отырып, ескерткішті қалпына келтіру. Әрбір нақты жағдайда бір немесе басқа шешім қабылданады, ол жақтастарын да, қарсыластарын да табады. Бұл мәселенің бір аспектісі-құрылыс жұмыстарын жүргізуде өз тарихында ұзақ үзілістері бар ғимараттарға деген көзқарас. Мұндай ескерткіштің қызықты мысалы-Түркістандағы Ахмет Яссауи ханақа-кесенесі, ол аяқталмаған. Оның қазіргі Қазақстан мәдениетінің өзін-өзі анықтаудағы маңыздылығын ескере отырып, іске асырылмаған жоба жоспары, сондай-ақ ғимараттың өзі құрылысының кезеңділігі туралы мәселені қарастыру орынды болып көрінеді. Бұл әсіресе кейбір аспектілерді атап өтуге байланысты қызықты, олардың кейбіреулері 1930-1950 жылдары жалпыға қол жетімді ғылыми қолданысқа енгізілгенімен, ханақа-кесенесінің құрылыс тарихының қазіргі кең таралған нұсқасын ескерусіз қалдырды және түзетпеді. Бұл негізінен XIV ғасырдың аяғы мен XVI ғасырдың аяғындағы құрылыс кезеңдеріне қатысты.сонымен қатар, композициялық талдау ғимараттың негізгі порталы ғана емес, сонымен қатар талдау нәтижелері бойынша қосарланған деп есептелген негізгі күмбез де аяқталмағаны туралы бұрын анықталмаған фактіні анықтады. Бұл кейбір инновациялық нәтижелер көрнекті шығарманы одан әрі зерттеу перспективаларын едәуір кеңейтуге мүмкіндік береді.

Түйінді сөздер: ханақа-кесенесі, реставрация, реконструкция, Қазақстан сәулеті, ортағасырлық сәулет, жобалық ой, композициясы.

The composition of the Khoja Ahmed Yassawi's mausoleum-khanaka in Turkestan evolution peculiarity

B.U. Kuspangaliev¹, K.I. Samoilov^{1*}, O.N. Priemets²

¹Affiliated (T.K.Basenov Institute of Architecture and Construction, Satbayev University, Almaty, Kazakhstan) ²Affiliated (International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan)

Annotation. The problem of preservation and optimal demonstration of architectural monuments to local residents and tourists is of constant scientific and public interest. Two concepts coexist in dialectical interaction: conservation to preserve the monument in the form in which it has come down to our times, and restoration of the monument with the restoration of lost details. In each case, one or another decision is made, which finds both supporters and opponents. One aspect of this problem is the attitude towards buildings that have long breaks in their history in carrying out construction work. An interesting example of such a monument is the mausoleum-khanaka of Ahmed Yassawi in Turkestan, which remained unfinished. Given its importance for the self-determination of the culture of modern Kazakhstan, it seems

appropriate to consider the issue of the project plan, which remained unrealized, as well as the stages of the construction of the building itself. This is especially interesting in connection with the emphasis on some aspects, some of which, although they were included in public scientific usage in the 1930's and 1950's, however, remained without attention and did not correct the modern widespread version of the history of the construction of the mausoleum-khanaka. This applies mainly to the construction stages of the end of the XIV century and the end of the XVI century. In addition, compositional analysis revealed a previously uncensored fact that not only the Main Portal of the building was not completed, but also the Main Dome, which, judging by the results of the analysis, was supposed to be double. These somewhat innovative results allow us to significantly expand the prospects for further research of an outstanding work.

Keywords: a mausoleum-khanaka, a restoration, a reconstruction, the architecture of Kazakhstan, a Medieval architecture, a design concept, a composition.

References

1. Yelgin Yu.A. Arkheologicheskie i istoriko-arkhitekturny'e issledovaniya mavzoleya Khodzhi Akhmeda Yasavi: Vtoraya polovina XIX v. – seredina 1950-kh godov: (Ocherki i materialy') [Archaeological and historical-architectural studies of the mausoleum of Khoja Ahmed Yassawi: The second half of the XIX century – mid-1950s: (Essays and materials)]. – Almaty, 2013. – 225 p. [in Russian].
2. Bibliographies (Last modified: 30 January 2014). – URL: <https://www.oxfordbibliographies.com/view/document/obo-9780199920105/obo-9780199920105-0028.xml?rskey=JJsodK&result=142> (accessed: 30.10.2023).
3. Masson M.E. Mavzolej Khodzha Akhmeda Yasevi [Mausoleum of Khoja Ahmed Yassewi]. – Tashkent: Tipolit No. 2 Uzpoligrafrest, 1930. – 22 p. [in Russian].
4. Zasyarkin B.N. Arkhitektura Srednej Azii [Architecture of Central Asia]. – Moscow: Publishing House of the Academy of Architecture of the USSR, 1948. – 159 p. [in Russian].
5. Mankovskaya L.Y. Issledovanie arkhitekturnogo kompleksa – mavzoleya Akhmada Yasavi v gorode Turkestane i voprosy` ego restavratsii [Study of the architectural complex – mausoleum of Ahmad Yassawi in Turkestan and issues of its restoration]: Abstract of the dissertation for the degree of Candidate of Historical Sciences. – Tashkent, 1963. – 18 p. [in Russian].
6. Mankovskaya L.Y. Tipologicheskie osnovy` zodchestva Srednej Azii. IX – nachalo XX v. [Typological foundations of the native city and environment. IX – the beginning of the XX century]. – Tashkent: "Fan", 1980. – 84 p. [in Russian].
7. Basenov T. Kompleks mavzoleya Akhmeda Yasavi [The complex of the mausoleum of Ahmed Yassawi]. – Almaty: Oner, 1982. – 71 p. [in Russian].
8. Tuyakbaeva B.T. E`pigraficheskiy dekor arkhitekturnogo kompleksa Akhmeda Yasavi [Epigraphic decor of the architectural complex of Ahmed Yassawi]. – Alma-Ata: Oner, 1989. – 176 p. [in Russian].
9. Svod pamyatnikov istorii i kul`tury` Kazakhstana [A set of historical and cultural monuments of Kazakhstan]. – Alma-Ata: The main edition of the "Kazak Soviet Encyclopedia", 1994. – Vol. I: Shymkent region. – 368 p. [in Russian].
10. Smagulov E.A., Tuyakbayev M.K. Novoe v rannej istorii nekropolya g. Turkestana [New in the early history of the necropolis of Turkestan] // And NAS RK: Ser. of Social Sciences. - 1998. – No. 1. – P.18-25. [in Russian].
11. Smagulov E., Grigoriev F., Itenov A. Ocherki po istorii i arkheologii srednevekovogo Turkestana [Essays on the history and archeology of medieval Turkestan]. – Almaty: Gylym, 1999. – 232 p. [in Russian].
12. Gladinov B. Istoriya arkhitektury` Kazakhstana (s drevnikh vremyon do nachala XX veka) [History of architecture of Kazakhstan (from ancient times to the beginning of the XX century)]. – Almaty: KazGASA, 1999. – 295 p. [in Russian].
13. Ordabaev A. Problemy` izucheniya, okhrany` i restavratsii pamyatnikov arkhitektury` na primere Mavzoleya Khodzhi Akhmeda Yasavi [Problems of study, protection and restoration of architectural monuments on the example of the Mausoleum of Khoja Ahmed Yasawi] / Video lecture, March 09, 2017; recorded by S.Romashina. – URL: <https://vlast.kz/gorod/22023-problemy-izucenia-ohrany-i-restavratsii-pamatnikov-arhitektury-na-primere-mavzolea-hodzi-ahmeda-asavi.html> (Accessed: 30.10.2023). [in Russian].
14. Baitenov, E., Tuyakayeva, A., Abdrasilova, G. Medieval mausoleums of Kazakhstan: Genesis, architectural features, major centres. *Front. Archit. Res.* 2019, 8. – P. 80-93. – URL: <https://doi.org/10.1016/j.foar.2018.11.001> (accessed: 30.10.2023).

15. Samoilov K., Kuspangaliyev B., Sadvokasova G., Akhmedova A. The Version of the Composition of the Mausoleum-Khanaka Khoja Ahmed Yassawi Main Facade in Turkestan. *Heritage* 2023, 6. – P. 1344-1377. – URL: <https://doi.org/10.3390/heritage6020074> (accessed: 30.10.2023).

16. Muminov, A. E`pigraficheskie nadpisi mavzoleya Khodzha Akhmeda Yassavi kak istochnik po istorii Kazakhstana [Epigraphic inscriptions of the mausoleum of Khoja Ahmed Yasawi as a source on the history of Kazakhstan], *QOJALAR.KZ – Tagikh. Tan, Tan* 12.09.2019. – URL: <https://kozhal.kz/20197571-epigraficheskie-nadpisi-mavzoleya-hadzha-ahmada-jasavi-kak-istochnik-po-istorii-kazakhstan> (accessed: 30.10.2023). [in Russian].

17. Ratiya Sh.E. [Bi bi-Khanim Mosque in Samarkand: research and restoration experiments]. – Moscow: State Publishing House of Architecture and Urban Planning, 1950. – 108 p. [in Russian].

Сведения об авторах:

Б.У.Куспангалиев – профессор, доктор архитектуры, директор Института Архитектуры и Строительства им.Т.К.Басенова, Satbayev University, ул.Сатпаева, 22, Алматы, Казахстан, телефон +7-701-744-05-34, E-mail: kazmaam@mail.ru

К.И.Самойлов – доцент, доктор архитектуры, профессор кафедры «Архитектура», Институт Архитектуры и Строительства им.Т.К.Басенова, Satbayev University, ул.Сатпаева, 22, Алматы, Казахстан, телефон +7-701-357-68-93, E-mail: samconiv@mail.ru

О.Н.Приемец – кандидат архитектуры, ассистент профессора факультета Архитектуры, Международная образовательная корпорация, ул.Рыскулбекова, 28, Алматы, Казахстан, телефон +7-747-454-95-02, E-mail: oksana.priemets@mail.ru

Б.У.Куспангалиев – профессор, сәулет докторы, Т.Қ.Басенов атындағы Сәулет және құрылыс институтының директоры, Сәтбаев Университеті, Сәтбаев көшесі, 22, Алматы, Қазақстан, +7-701-744-05-34, E-mail: kazmaam@mail.ru

К.И.Самойлов – доцент, сәулет докторы, «Сәулет» кафедрасының профессоры, Т.Қ.Басенов атындағы Сәулет және құрылыс институты, Сәтбаев Университеті, Сәтбаев көшесі, 22, Алматы, Қазақстан, телефон +7-701-357-6893, E-mail: samconiv@mail.ru

О.Н.Приемец – сәулет кандидаты, Сәулет факультеті профессорының ассистенті, Халықаралық білім беру корпорациясы, Рысқұлбеков көшесі, 28, Алматы, Қазақстан, телефон +7-747-454-95-02, E-mail: oksana.priemets@mail.ru

B.U.Kuspangaliyev – Professor, Doctor of Architecture, Director of the T.K.Basenov Institute of Architecture and Construction, T.K.Basenov Institute of Architecture and Construction, Satbayev University, 22 Satbayev str., Almaty, Kazakhstan, phone +7-701-744-05-34, E-mail: kazmaam@mail.ru

K.I.Samoilov – Associate Professor, Doctor of Architecture, the Department of Architecture professor, T.K.Basenov Institute of Architecture and Construction, Satbayev University, 22 Satbayev str., Almaty, Kazakhstan, phone +7-701-357-6893, E-mail: samconiv@mail.ru

O.N.Priemets – Candidate of Architecture, Assistant Professor of the Architecture Faculty, International Educational Corporation, 28 Ryskulbekov str., Almaty, Kazakhstan, phone +7-747-454-95-02, E-mail: oksana.priemets@mail.ru

А.А. Тойшиева*

*Евразийский Национальный университет им. Л.Н.Гумилева, г. Астана, Казахстан
E-mail: almagul7@inbox.ru

Экологичность современной архитектуры зданий с позиции философско-эстетического аспекта (на примере г. Астаны)

Аннотация. *Идея обращения к философско-эстетическому аспекту в вопросах формирования экологической архитектуры в мировой архитектурной практике и теории становится все более актуальным. Процесс ухудшения экологии городов, качества окружающей среды, сокращения природных ресурсов, определяют важность использования данного аспекта в устойчивом развитии. В данном исследовании раскрывается взаимодействие архитектуры с естественной природной средой, с культурно-историческим наследием на основе философско-эстетического обоснования этих действий, обеспечивающие высокий уровень экологического, социального, экономического и культурного развития общества. Исследование, изучающее экологический подход к формированию архитектуры посредством философско-эстетического аспекта к пониманию архитектуры, направлено на определение идейно-смысловой основы современного зодчества. Для раскрытия этой тематики в данной работе рассматривается архитектура современных общественных зданий Астаны, это торгово-развлекательный центр «Хан Шатыр» и культурно-образовательный центр «Дворец школьников». В результате изучения архитектурных объектов позволило выявить аспекты формирования архитектуры в симбиозе с природой, в симбиозе с культурным наследием и традициями, составляющие базовую основу в формировании современного экологического пространства. Особое внимание в работе уделено смысловому контексту художественной выразительности архитектурных форм, обращение к символической характеристике формообразования, декора, ландшафта, определяющие глубокое постижение культурного смысла современного зодчества.*

Ключевые слова: экологичность, архитектура, философия, культурное наследие, эстетика, природная среда.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-226-235

1. Введение

В современном мире процесс роста роли городов в жизни общества приобретает нарастающий характер. Крупные города предоставляют большие возможности во всех сферах услуг (образование, карьерный рост, социальные связи, культурно-духовное развитие и т.д.), выступая в качестве ключевого элемента в экономической, культурной и социальной активности населения. Но, тем не менее, процессы, связанные с масштабным строительством городов, увеличением плотности застройки, городского населения, транспортной загруженностью, сопровождающиеся высоким потреблением природных ресурсов (уголь, нефть и газ), вызывают проблемы загрязнения окружающей среды.

Новые цели устойчивого развития городов, представленные в международной повестке дня Организацией Объединенных Наций в сентябре 2015 года, «Культура»

впервые рассматривается в качестве основополагающего фактора в устойчивом развитии. Если говорить о городах-столицах, в частности об Астане, то столицы, являясь эталоном идеального и главного города, представляют наиболее совершенную форму выражения бытия и культуры [1]. Понятие культуры широкое и сложное [2] и, в рамках данной статьи, можно предположить рассмотрение культуры с позиции философско-эстетического аспекта в формировании экологичности современной архитектуры зданий. Поэтому, здесь признается важность сохранения культурного наследия, природного ландшафта, выраженных в построении современных методов создания устойчивого развития города.

Сегодня исследования устойчивости городской среды в основном затрагивают экологический фактор, направленный на энергосбережение, экономию ресурсов, применение различных инженерных энергоэффективных технологий. Но, к сожалению, вопросам взаимодействия архитектуры с культурой, природным ландшафтом населяющего его народа уделяется недостаточное внимание.

Цель представленной работы состоит в выявлении и научном обосновании роли философско-эстетического аспекта в создании экологичности современной архитектуры зданий и сооружений, и предложить их к использованию при проектировании зданий.

Аспекты экологического развития городов были исследованы во многих трудах ученых. Так, вопросы проектирования зданий с учетом особенностей климатических характеристик подробно рассмотрены в работе Дж.Э. Аронина [3], где автор отмечает, что климатические условия в весьма большой мере определяют форму зданий. В концепции будущего города с позиции архитектурно-строительной экологии Тетиор А.Н. [4] в своей работе подчеркивает важность природы в городской застройке, что только в системе «природа-город-человек» возможна гармонизация окружающей среды. Природный ландшафт города имеет первостепенное значение в планировании и формировании архитектуры города.

В научной работе А.У. Ри [5] природному ландшафту уделяется первостепенное значение, где ландшафт имеет высокий эстетический потенциал в организации современного архитектурного своеобразия города, устанавливая композиционно-выразительные связи между застройкой и существующим рельефом.

В своей книге «Образ города» Кевин Линч [6] выдвигает теорию, в которой главная роль в развитии города отводится городскому жителю, его восприятию городской среды на когнитивном уровне. Его теория когнитивного восприятия городской среды, основанная на социальном опросе жителей Бостона, Лос-Анджелеса и Берлингтона, показывает, что одной из «сильных точек» в динамике коллективного восприятия городской среды является также природная компонента (парки, водоемы, зеленые пятна и т.д.).

В научном труде Добрицыной И.А. [7, с. 370], в главе, посвященной реалии архитектуры в новом тысячелетии, говорится о том, что нынешняя ситуация взаимодействия архитектуры с компонентами культуры намного сложнее и требует глубокого изучения, поскольку «агрессия техногенной цивилизации распространяется не только на архитектуру, но и на культуру в целом».

Одним из основоположников концепции «духа места» является известный норвежский архитектор Норберг-Шульц [8], который, исследуя психологические аспекты архитектуры, подчеркивал, что общественные городские сооружения должны создаваться согласно восприятию местного ландшафта, истории места. По мнению Норберг-Шульца, большинство городских общественных пространств созданы в «пустом» пространстве, т.е. без учета привязанности к местности, в итоге, определяя утрату взаимосвязи человека с природой, с культурой места.

Всемирно известный японский философ-архитектор Кисе Курокава в своих трудах, посвященных архитектуре и философии (например, «Метаболизм в архитектуре», «Философия симбиоза» и мн. другие) полагает, что архитектура будет идеальной в том случае, когда она сосуществует в симбиозе с природой, с историей, с культурными традициями. Архитектор убежден, что основная задача современного общества - способствовать развитию экономики так, чтобы она учитывала интересы культуры [9].

2. Материалы и методы

Методом анализа, изучения современных проектных решений архитектуры общественных зданий Астаны, выделены особенности взаимосвязи архитектуры с существующим природным ландшафтом, с историко-культурным наследием в сочетании с новыми тенденциями энергоэффективных технологий, которые в купе составляют базовую основу в формировании современного экологического пространства.

В данном исследовании автор работы пытается выделить три аспекта, способствующие комфортному, устойчивому развитию городского пространства: философско-мировоззренческий, определяющий принципы создания художественного образа объекта архитектуры позиции культурно-исторических истоков, его конструктивных особенностей, а также, в тесной взаимосвязи с естественной средой (природным ландшафтом); эстетический, для понимания которого используются различные композиционно-эстетические средства, такие как, цветовое решение, фактура материалов, отделка фасадов и интерьеров; технический, где рассматриваются современные инженерные решения энергоэффективности зданий.

3. Результаты и обсуждения

Одним из ярких примеров современного зодчества Астаны, определяющий экологичность архитектуры в контексте философско-мировоззренческого подхода, является творческое творение британского архитектора Нормана Фостера торгово-развлекательный центр «Хан-Шатыр». В архитектурно-стилистическом решении объекта, в его художественном образе прочитывается обращение к истории казахского народа, к местным культурным традициям, а именно к образу древнего жилища, юрте. Надо отметить, что архитектура Нормана Фостера отличается изысканным вниманием к историческому прошлому, сочетая в своих работах культурно-исторические образы с современными формами в стиле хай-тек, инновационными достижениями технологий, позволяющие создавать высоко эстетическую архитектурную выразительность.

Казахская традиционная юрта, как шедевр кочевой цивилизации, определяет мировоззренческий опыт кочевой жизни народа и его традиционный духовно-материальный быт. Юрта – кийз уй – казахов как уникальное и утилитарное жилище адаптирована к условиям жизни кочевников [10]. Куполообразная форма жилища кочевников является символом степных народов.

Уникальная форма Хан-Шатыра, продиктованная глубоким философско-эстетическим содержанием, воплощает идею единения с окружающей природой и создает гармоничную целостность архитектурно-пространственной среды. Вбирая в себя особенности казахского традиционного жилища, архитектура комплекса реализует тем самым принципы экологически устойчивого городского пространства. Слияние сооружения с естественной природной средой, со степным ландшафтом, по замыслу автора проекта решается созданием зеленого стилобата, который, в свою очередь, обеспечивает архитектурно-пространственную среду зеленой зоной и защиту от внешних климатических факторов (атмосферные осадки, влажность).

Следует отметить, что городской ландшафт затрагивает не только ландшафтную архитектуру, но и многие науки, в частности, экологию, энергетику, ресурсосбережение, отражая в своей структуре историю города, его природное и культурное наследие [11]. Поэтому в задаче сохранения исторического наследия природный естественный ландшафт города, в нашем случае степной край, имеет одну из важных составляющих в устойчивом развитии. Особенности ландшафта и природное окружение способны формировать идентичность городского пространства [12]. Это означает, что форму будущего здания определяет окружение: рельеф, климат, движение солнца делают проект уникальным только в определенном времени и пространстве [13].

Художественно-эстетическое восприятие архитектурного объекта определяет цветовое решение здания или сооружения с учетом традиций визуально-цветовой среды города. Для понимания архитектуры строений в аспекте этнокультурного компонента используются также такие средства, как цвет и фактура используемого материала. Цветовое решение Хан-Шатыра опирается на увязке национального архитектурного колорита (белый цвет войлочного покрытия юрты) с современным дизайном, что придает объекту определенное стилевое звучание и гармонично интегрироваться в окружающий ландшафт. Современный материал ETFE, его характеристики (цвет и фактура материала, легкость, экологичность, прозрачность, т.е. способность пропускать ультрафиолетовые лучи, устойчивость к температурным перепадам) позволило автору высоко выразить творческий замысел, олицетворяющий духовность архитектуры, ее художественно-эстетическую красоту. Художественный прием вечернего светодизайна комплекса, создающий яркий силуэтный эффект в ночное время, создает объекту определенную динамику в городской застройке, улучшая качество среды и эстетическое восприятие человеком окружающего пространства.

Конструктивно-инженерное решение Хан-Шатыра, представляющее переплетенные стальные ванты с закреплением на них прозрачного полимерного материала ETFE (в юрте кереге и войлочное покрытие) подкреплено также философско-эстетической идеей. Благодаря современным энергоэффективным технологиям техническое решение воздушных потоков в комплексе происходит аналогично системе проветривания в казахской юрте. За счет регулируемой системы вытяжки загрязненного воздуха в верхнем кольцевом отверстии центра (в юрте это «шанырак»), и системы воздухозаборных устройств подачи свежего воздуха в нижнем ярусе (в юрте откидной нижний войлок), поддерживается хорошее качество воздуха в комплексе и значительно экономит потери энергоресурсов. Для более отдаленных частей здания работает дополнительная система кондиционирования воздуха, в которой отработанный очищенный воздух по воздуховодам направляется в помещения. Таким образом, такая модель распределения воздушных масс определяет комфортную температуру и обеспечивает комфортный микроклимат всего здания (рис.1).

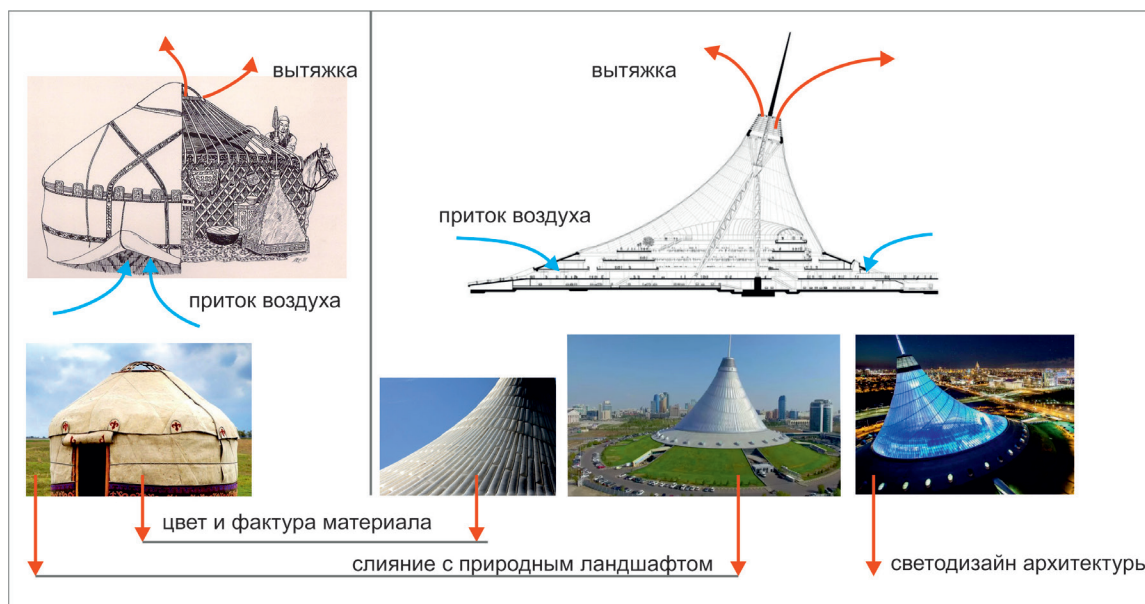


Рисунок 1. Философско-эстетический подход в формировании экологичности современной архитектуры объекта. ТРЦ Хан-Шатыр, г.Астана, Казахстан. Авторская разработка.

Интересный проект нового современного культурно-образовательного центра «Дворца школьников» реализовала команда специалистов из России (Санкт-Петербург) Studio 44 Architects. В содержании архитектуры дворца прослеживается глубокий философский смысл, обращение к историческим истокам национальной культуры. В первую очередь, это прочитывается в планировочной композиции объекта – огромный диск-цилиндр, символизирующий шанырак, объединяет под собой прямоугольные объемы, напоминающие казахский войлочный «шамадан». В представлении кочевников шанырак символизирует солнце [14], а купольные в нем жерди – «уыки» небосвод с лучами солнца, что в свою очередь, при адаптации в экосистему у народа выстраивалась мифологическая картина мира – связь земли с небом. Так, чтобы воспроизвести в современной интерпретации это символическое значение шанырака, авторы проекта установили в конструкции центрального диска круглые отверстия - световые фонари. Световые фонари служат не только элементом освещения внутреннего пространства здания, но и являются архитектурно-конструктивным элементом культурно-исторической информации. Например, из рисунка ниже видно, что в главном холле дворца установлена большая винтовая лестница (напоминает главный конструктивный остов юрты), которая освещена верхним световым фонарем (рис.2).

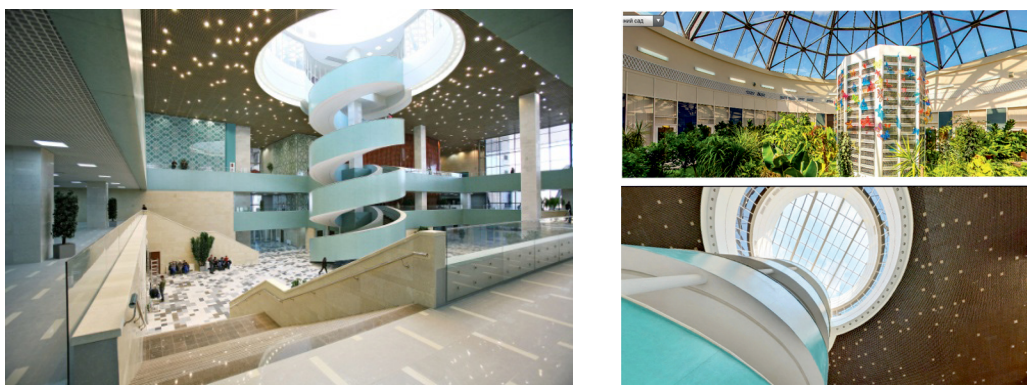


Рисунок 2. Световые фонари комплекса.
Центральный холл и зимний сад дворца школьников, г.Астана, Казахстан

Помимо этого, в архитектурно-планировочном решении комплекса затрагивается глубинная составляющая восприятия пространства и отсылает зрителя к древнему жилищу казахов – это принцип ориентации входа (на восток), и троичность [15] архитектоники юрты. Так, функционально-планировочная схема дворца состоит из трех основных групп - спортивная, зрелищная, административная (в юрте три элемента кереге, уык и шанырак), в которых расположены дополнительные зоны (бассейн, каток, музей, планетарий, театральный и выставочный залы и т.д.).

Фасады стен прямоугольных объемов «шамаданов» расписаны казахским орнаментом, что, с точки зрения философско-эстетического измерения, позволяет зрителю рассматривать комплекс с ракурса художественного познания местной национальной культуры (рис. 3).

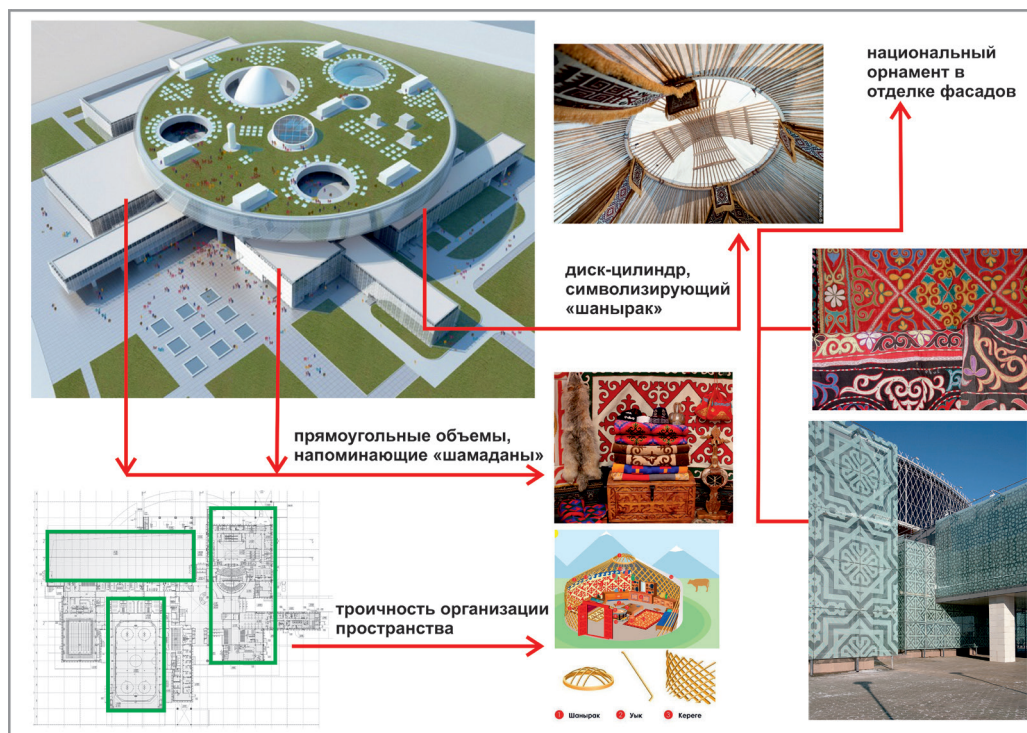


Рисунок 3. Философско-эстетический подход в формировании экологичности современной архитектуры объекта. Дворец школьников, г.Астана, Казахстан. Авторская разработка.

«Шамаданы» являются главным украшением внутреннего убранства казахской юрты. Сам же рисунок орнамента на них, в данном случае в виде ромба, олицетворяет у казахского народа плодородие. Стены выполнены из светло-зеленого витражного стекла, на котором белым цветом запечатлен ажурный орнамент. Такая практика исполнения удачно показывает слияние мотивов национального зодчества с технологиями современной архитектуры.

Что касается современных технологий в решении экологичности архитектуры здания, то «Дворец школьников» создан согласно требованиям ресурсо- и энергосбережения за счет установки на объекте ветрогенераторов, тепловых насосных установок и солнечных батарей. Для наружной и внутренней отделки стен использованы экологически чистые строительные материалы – это натуральные природные камни в виде гранита и травертина. Помимо этого, в интерьерных пространствах комплекса заложена система «зеленых» рекреационных зон (зеленые насаждения и зимний сад), которые организуют комфортные места отдыха и общения. Объект расположен на левом берегу города, на пересечении улицы Бауржана Момышулы и проспекта Тауелсыздык.

4. Выводы

В ходе анализа архитектуры двух общественных зданий «Дворец школьников», «ТРЦ Хан-Шатыр» и изучения в них методов экологичности, позволило автору статьи выявить философско-эстетический аспект, являющийся ключевым в реализации задачи устойчивого развития. В рамках актуальных тенденций архитектуры, на основе ярких примеров современного зодчества общественных зданий Астаны, определены основополагающие аспекты:

- философский, когда формирование и осмысление архитектуры современного объекта происходит посредством философии, т.е. с позиции культурно-исторических истоков

определяется принцип формообразования и конструкций здания и непосредственно перспектива будущей архитектуры: в содержании архитектуры двух объектов Астаны заложена традиционная «казахская юрта»;

- эстетический, предполагающий использование различных композиционно-эстетических средств, такие как, цветовое решение объекта, фактура материалов и отделка фасадов и интерьеров с использованием национальных мотивов, художественных приемов использования естественного и искусственного света;

- природный, в понимании которого используются: природный естественный ландшафт, когда форма здания и общественные его пространства подчинены окружающему ландшафту, в данном случае степной; когда осуществляется связь интерьера с природой с включением «зеленых» зон;

- технический, рассматривающий современные инновационные решения для создания высокоэкологичного объекта – энергоэффективные технологии в виде применения ветрогенераторов, системы проветривания помещений здания, тепловых насосных установок, солнечных батарей, «зеленых» пространств, экологически чистых материалов в отделке фасадов.

Архитектура современных объектов Астаны «Дворец школьников», «ТРЦ Хан-Шатыр» выражает принципиально новый вектор в сторону создания экологически комфортной среды, рассмотренный в контексте симбиоза архитектуры и природы, симбиоза исторического прошлого и будущего, формирующий новое направление архитектурного творчества XXI века.

Таким образом, современное архитектурное пространство молодой столицы Астаны решает не только социально-экономические и политические задачи, но и становится духовно-культурной средой. Опыт архитектуры современных зданий Астаны ярко демонстрирует важнейший ресурс культурных ценностей, которое может формировать особое духовное, культурное состояние современного общества, определяя уникальную идентичность независимого Казахстана.

Список литературы

1. Город-столица как культурный феномен / Дуйсенби А.С., Турекулова А.И., Самойлов К.И. // Наука и образование сегодня. - 2023, №1(75). - С. 71-74. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54748432>
2. Culture-sustainability relation: Toward a conceptual framework. Sustainability / K. Soini, J. Dessein // 2016, № 8(2). - 167. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8020167>
3. Аронин Дж. Климат и архитектура. Пер. с англ. Соколов В.Б. – М.: Госстройиздат, 1959. – 245 с.
4. Тетиор А.Н. Архитектурно-строительная экология. – М.: Академия, 2008.- 336 с. URL: https://academia-moscow.ru/ftp_share/_books/fragments/fragment_18456.pdf
5. Формирование архитектурно-пространственного своеобразия городов на основе градоформирующих свойств рельефа / Ри А.У. // Вестник ИрГТУ. - 2012, № 11(70). – С. 118-123. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18256819>
6. Кевин Линч. Образ города. – М.: Стройиздат, 1987. – 328 с. URL: https://books.totalarch.com/image_of_the_city_kevin_lynch
7. Добрицына И.А. От постподернизма к нелинейной архитектуре – Архитектура в контексте современной философии и науки. – М.: Прогресс-Традиция, 2004. – 416 с. URL: <https://books.totalarch.com/n/1612>
8. О феномене, структуре и духе места у К. Норберг-Шульца / Кияненко К. // Архитектурный вестник. - 2008, №3. – С. 98-101. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29264294>
9. [9] Философия симбиоза Кисе Куракавы / Бадлуева В.М. // Вестник томского государственного университета. - 2009, №329. – С. 61-64. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13755563>
10. Казахская традиционная юрта - шедевр кочевой цивилизации / Амиргазин К.Ж., Амиргазин Е.К. // Мир науки, культуры, образования. – 2019, №6(79). - С. 228-231. DOI: <https://doi.org/10.24411/1991-5497-2019-10098>

11. Роль ландшафтной архитектуры в формообразовании общественных пространств современного города / Ярмош Т.С., Бабаева М.А. // Вестник Белгородского государственного технологического университета им. В.Г. Шухова. – 2020, №12, С. 102-109. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-12-102-109>
12. Architectural and Compositional Concepts of Environmentally Safe Urban Arrangement / Zhaina Zhanaikyzy Tolegen , Galym Abdykaimovich Issabayev , Ardak Kenesovna Yussupova , Gulshat Buharbaevna Murzalina , Dina Abilmazhinovna Amandykova // Civil Engineering and Architecture. - 2022. - Vol. 10, No. 3, P. 1036 – 1046. DOI: <http://dx.doi.org/10.13189/cea.2022.100320>
13. Архитектура как вид культурного бытия: философско-категориальный подход / Лазьер В.А., Извин Д.А. // Контекст и рефлексия: философия о мире и человеке. – 2016. - Том 5, №6А, С. 269-279. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29313709>
14. Юрта-основа мироздания / Еликпай Е.М. // Журнал «Достық - Дружба». – 2013. -№1. [дата обращения: 05.11.2023г.]. URL: <https://vkoem.kz/index.php/2010-03-09-08-54-46/98-2010-05-05-03-22-46/1330-elikpaj-bm-yurta-osnova-mirozdaniya>
15. Картина мира в Центрально-азиатской юртообразной архитектуре / Мелехова К.А. // Вестник кемеровского государственного университета культуры и искусств. – 2017. - №41-1, С. 159-166. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32205729>

Философиялық-эстетикалық аспект тұрғысынан ғимараттардың заманауи архитектурасының тұрақтылығы (Астана қ. мысалында)

А.А. Тойшиева*

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

Аңдатпа. әлемдік сәулет практикасы мен теориясында экологиялық архитектураны қалыптастыру мәселелерінде философиялық-эстетикалық аспектке жүгіну идеясы барған сайын өзекті бола түсуде. Қала экологиясының нашарлау процесі, табиғи ресурстардың азаюы, қоршаған орта сапасы осы аспектіні тұрақты дамуда қолданудың маңыздылығын анықтайды. Бұл зерттеу қоғамның экологиялық, әлеуметтік, экономикалық және мәдени дамуының жоғары деңгейін қамтамасыз ететін осы әрекеттердің философиялық-эстетикалық негіздемесі негізінде сәулет пен табиғи ортаның, мәдени-тарихи мұраның өзара әрекеттесуін ашады. Архитектураны философиялық-эстетикалық негіздеу және түсіну арқылы қалыптастыруға экологиялық көзқарасты зерттейтін зерттеу қазіргі сәулет өнерінің идеялық-семантикалық негізін анықтауға бағытталған. Осы тақырыпты ашу үшін осы жұмыста Астананың заманауи қоғамдық ғимараттарының сәулеті қарастырылады, бұл «Хан Шатыр» сауда-ойын-сауық орталығы және «оқушылар сарайы» мәдени-білім беру орталығы. Архитектуралық объектілерді зерттеу нәтижесінде қазіргі экологиялық кеңістікті қалыптастырудың негізгі негізін құрайтын табиғатпен симбиозда, Мәдени мұра мен дәстүрлермен симбиозда архитектураның қалыптасу аспектілері анықталды. Жұмыста сәулеттік формалардың көркемдік экспрессивтілігінің семантикалық контекстіне, қазіргі сәулет өнерінің мәдени мағынасын терең түсінуді анықтайтын форманың, декордың, ландшафттың символдық сипаттамасына жүгінуге ерекше назар аударылады.

Түйінді сөздер: тұрақтылық, сәулет, философия, Мәдени мұра, эстетика, табиғи орта.

Environmental friendliness of modern architecture of buildings from the standpoint of philosophical and aesthetic aspect (on the example of Astana)

A. A. Toishiyeva*

*L. N. Gumilev Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan

Abstract: The idea of turning to the philosophical and aesthetic aspect in the formation of ecological architecture in the world architectural practice and theory is becoming more and more relevant. The process of deterioration of the ecology of cities, the reduction of natural resources, the quality of the environment determine the importance of using this aspect in sustainable development. This study reveals

the interaction of architecture with the natural environment, with cultural and historical heritage on the basis of philosophical and aesthetic justification of these actions, providing a high level of ecological, social, economic and cultural development of society. The research, which studies the ecological approach to the formation of architecture through philosophical and aesthetic justification and understanding of architecture, is aimed at determining the ideological and semantic basis of modern architecture. To reveal this topic, this work examines the architecture of modern public buildings in Astana, such as the Khan Shatyr shopping and entertainment center and the Palace of Schoolchildren cultural and Educational center. As a result of the study of architectural objects, it was possible to identify aspects of the formation of architecture in symbiosis with nature, in symbiosis with cultural heritage and traditions, which form the basic basis in the formation of modern ecological space. Special attention is paid to the semantic context of the artistic expressiveness of architectural forms, an appeal to the symbolic characteristics of shaping, decoration, landscape, which determine the deep comprehension of the cultural meaning of modern architecture.

Keywords: environmental friendliness, architecture, philosophy, cultural heritage, aesthetics, natural environment.

References

1. Gorod-stolica kak kul'turnyj fenomen / Dujsenbi A.S., Turekulova A.I., Samojlov K.I. // *Nauka i obrazovanie segodnya*. - 2023, №1(75). - S. 71-74. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=54748432> [in Russian].
2. Culture-sustainability relation: Toward a conceptual framework. *Sustainability* / K. Soini, J. Dessein // 2016, № 8(2). - 167. DOI: <https://doi.org/10.3390/su8020167> [in Russian].
3. Aronin Dzh. *Klimat i arhitektura*. Per. s angl. Sokolov V.B. – M.: Gosstrojizdat, 1959. – 245 s. [in Russian].
4. Tetior A.N. *Arhitekturno-stroitel'naya ekologiya*. – M.: Akademiya, 2008.- 336 s. URL: https://academia-moscow.ru/ftp_share/_books/fragments/fragment_18456.pdf [in Russian].
5. Formirovanie arhitekturno-prostranstvennogo svoeobraziya gorodov na osnove gradoformiruyushchih svoystv ral'efa / Ri A.U. // *Vestnik IrGTU*. - 2012, № 11(70). – S. 118-123. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=18256819> [in Russian].
6. Kevin Lynch. *Obraz goroda*. – M.: Strojizdat, 1987. – 328 s. URL: https://books.totalarch.com/image_of_the_city_kevin_lynch [in Russian].
7. Dobricyna I.A. *Ot postpodernizma k nelinejnoj arhitekture – Arhitektura v kontekste sovremennoj filosofii i nauki*. – M.: Progress-Tradiciya, 2004. – 416 s. URL: <https://books.totalarch.com/n/1612> [in Russian].
8. O fenomene, strukture i duhe mesta u K. Norberg-SHul'ca / Kiyanenko K. // *Arhitekturnyj vestnik*. - 2008, №3. – S. 98-101. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29264294> [in Russian].
9. *Filosofiya simbioza Kise Kurakavy / Badlueva V.M.* // *Vestnik tomskogo gosudarstvennogo universiteta*. - 2009, №329. – S. 61-64. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=13755563> [in Russian].
10. *Kazahskaya tradicionnaya yurta- shedevr kochevoj civilizacii / Amirgazin K.ZH., Amirgazin E.K.* // *Mir nauki, kul'tury, obrazovaniya*. – 2019, №6(79). - S. 228-231. DOI: <https://doi.org/10.24411/1991-5497-2019-10098> [in Russian].
11. *Rol' landshaftnoj arhitektury v formoobrazovanii obshchestvennyh prostranstv sovremenno goroda / YArmosh T.S., Babaeva M.A.* // *Vestnik Belgorodskogo gosudarstvennogo tekhnologicheskogo universiteta im. V.G. SHuhova*. – 2020, №12, S. 102-109. DOI: <https://doi.org/10.34031/2071-7318-2020-5-12-102-109> [in Russian].
12. *Architectural and Compositional Concepts of Environmentally Safe Urban Arrangement / Zhaina Zhanaikyzy Tolegen, Galym Abdykaimovich Issabayev, Ardak Kenesovna Yussupova, Gulshat Buharbaevna Murzalina, Dina Abilmazhinovna Amandykova* // *Civil Engineering and Architecture*. - 2022. - Vol. 10, No. 3, P. 1036 – 1046. DOI: <http://dx.doi.org/10.13189/cea.2022.100320> [in English].
13. *Arhitektura kak vid kul'turnogo bytiya: filosofsko-kategorial'nyj podhod / Laz'er V.A., Izvin D.A.* // *Kontekst i refleksiya: filosofiya o mire i cheloveke*. – 2016. - Tom 5, №6A, S. 269-279. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=29313709> [in Russian].

14. YUrta-osnova mirozdaniya / Elikpaj E.M. // Zhurnal «Dostyk - Druzhba». – 2013. -№1. [data obrashcheniya: 05.11.2023g.]. URL: <https://vkoem.kz/index.php/2010-03-09-08-54-46/98-2010-05-05-03-22-46/1330-elikpaj-bm-yurta-osnova-mirozdaniya> [in Russian].
15. Kartina mira v Central'no-aziatskoj yurtoobraznoj arhitekture / Melekhova K.A. // Vestnik kemerovskogo gosudarstvennogo universiteta kul'tury i iskusstv. – 2017. - №41-1, S. 159-166. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32205729>[in Russian].

М. Сағынтай¹, А. Мустафа¹, Е. Нұғман¹

¹Сәтбаев университеті, Алматы қаласы, Қазақстан

E-mail: mukhagali.sagyntay@gmail.com

3D баспаланған бетонды арматуралауға арналған автоматты арматуралаушы механизм

Аннотация. Құрылыстағы аддитивті технологияның қазіргі кездегі өзекті мәселелерінің бірі – 3D баспаланған бетонды арматуралау болып тұр. Осы уақытқа дейінгі зерттеу жұмыстары 3D баспаланған бетонды арматуралауда тек стандартты бұдырлы болат арматураны қолданғанда ғана оның механикалық қасиеттері дәстүрлі темірбетонның қасиеттеріне жақындайтынын дәлелдеді. Ендігі шешімін табу керек мәселе – 3D баспаланған бетонды стандартты бұдырлы болат арматурамен арматуралау үрдісін автоматтандыру. Осы мәселені шешу мақсатында бұл жұмыста түйіспелі дәнекерлеу әдісін пайдаланып, автоматты режимде екі қатарлы арматуралаушы тор құратын автоматты арматуралаушы механизмнің тұжырымдамасы жасалынып, сол тұжырымдамаға сай оның прототипі жасалынды және жұмыс қабілеттілігін тексеру үшін зертханалық сынақтар жүргізілді. Атап айтқанда, түйіспелі дәнекерлеу әдісін пайдаланып автоматты режимде жасалатын арматуралаушы тордың механикалық қасиеттері DIN 488-4 стандартының талаптарына сәйкестігін анықтау үшін және прототиптің түйіспелі дәнекерлеу жүйесін тексеру мақсатында крест тәріздес үлгілер жасалынып, динамомашинида ығыстыру әдісімен үзіп тексерілді. Сонымен қатар, автоматты арматуралаушы механизмнің прототипінің барлық жүйелерінің жұмыс қабілеттілігі тексерілді. Сөйтіп ұсынылған концепцияның жұмыс қабілеттілігі дәлелденді.

Кілт сөздер: 3D баспаланған бетон, Құрылыстағы аддитивті технология, стандартты болат арматура, бетонды арматуралау, автоматты арматуралаушы механизм.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-236-249

1. Кіріспе

3D басып шығару ретінде белгілі болған Аддитивті өндіріс әртүрлі салалардағы жаңа өндіріс әдісі болып табылады [1,2]. Аддитивті өндірістің жаңа технологиясы ретінде экструзияға негізделген бетонды 3D баспалау технологиясы алдын ала белгіленген цифрлық жол бойынша 3D нысандарын автоматты түрде қабаттап құяды, бұл құрылыс тиімділігін айтарлықтай жақсартады және еңбек шығындарын азайтады [3]. Сонымен қатар, бетонды 3D баспалау технологиясы құрылыс жылдамдығын жеделдете алады, жұмыс күші мен шикізатты үнемдейді, яғни құрылыс шығындарын азайтады және бетонды қалыпсыз қабаттап құю арқылы архитектуралық және жобалау еркіндігін қамтамасыз етеді [4].

Бүгінгі күнге дейін бетонды 3D басып шығару процесінің көптеген мәселелері зерттеліп шешім тапты. Атап айтқанда: бетонды 3D басып шығарудағы қабат аралық байланыстар [5-7], реологиясы [8,9], айдалуы және эктрудталуы [10,11], экономикалық және экологиялық бағалау [12] сияқты көптеген мәселелер зерттелді және шешілді.

3D баспаланған бетонды арматуралау мәселесі әлі өзектігін жоғалтпаған мәселелердің бірі болып тұр. Себебі, дәстүрлі бетон конструкцияларында жүзеге асырылатын

арматуралау тұжырымдамалары мен қағидалары (бетонның созылу шектеулерін жеңуге арналған) әдетте бетонды 3D басып шығаруға қолдануға келмейді [13]. Дәстүрлі бетонды құюда бірінші арматуралық тор жасалып, оның сыртына қалып құрылып, сол қалыптың ішіне бетон құйылады және бетон қалып пен арматуралық тордың барлық қуыстарын толтыру үшін дірілдеткіштер қолданылады. Ал, бетонды 3D басып шығарудың негізгі қағидасы қалыптан бас тарту, демек қалыпсыз бетон ағып кетпей пішінін сақтап қалу үшін ол жеткілікті дәрежеде қою болу керек. 3D баспаланған бетонның тағы бір тұжырымдамалық ерекшелігі – ол оның қабаттап құйылатыны, яғни дәстүрлі әдіспен алдын ала арматуралық тор жасалып қойса, онда құрылыс 3D принтерінің жылжымалы бөліктері мен бетон құятын шүмек арматуралық торға соғысып қалады.

Қазіргі уақытта бетонды 3D басып шығарудағы ең үлкен технологиялық кедергі 3D баспа барысында тиімді арматуралау әдісі болып табылады [14]. Болашақта құрылыстың негізгі әдістерінің бірі болу үшін 3D баспа барысында арматуралау үрдісін автоматтандыру қажет. Осы мақсатта арматуралау үрдісі үздіксіз болуы үшін 3D баспа барысында бетон қабаттың ортасына болат сымды және шынжырды [15], микрокабельді [16, 17], тросты [18], тікенек сымды [19], металл талшықтар, қысқа шыбықтар мен қапсырмалар [20- 23], металл тор [24], және көміртекті талшықтарды эпозитті желіммен желімдеп, арқан жасап [25], арматура ретінде салып отыру әдістері зерттелді. Бұл әдістер арматуралау үрдісін автоматтандыруға мүмкіндік бергенімен, аталған әдістердің ортақ кемшіліктері бетонға стандартты бүдірлі болат арматурадай беріктік бере алмайды.

Стандартты бүдірлі болат арматура 3D басып шығарылған бетонды арматуралау үшін пайдалану оның механикалық қасиеттерін дәстүрлі әдіспен жасалған темірбетонның механикалық қасиеттеріне жақындайтыны зерттеу жұмыстарда [26-28] дәлелденді. Бірақ, бүгінге дейін 3D баспаланған бетонды стандартты бүдірлі болат арматурамен арматуралау бойынша зерттеу жұмыстарында арматуралау үрдісі қолмен жүргізіледі, айырмашылықтары арматура 3D баспа барысына дейін [29], 3D баспа барысында [30,31] және басып шығарудан кейін [32, 33] салынған.

3D баспаланған бетонның механикалық қасиеттерін дәстүрлі әдіспен жасалған темірбетонмен бірдей болуын қамтамасыз ету және арматуралау үрдісін автоматтандыру үшін бұл мақалада жаңа 3D баспаланған бетонды арматуралаудың жаңа тұжырымдамасы ұсынылады. Жаңа тұжырымдама бойынша түйіспелі дәнекерлеу әдісін пайдаланып, көлденең және тік арматуралардан аутоматты режимде екі қатарлы арматуралаушы тор жасалады, оны арнайы жобаланып жасалатын аутоматты арматуралаушы механизм жүзеге асырады. Аутоматты арматуралаушы механизм бетонды қабаттап құятын арнайы шүмектің алдында жүріп, әр қабатта немесе бірнеше қабатты өткізіп көлденең арматура салып, оны тік арматураға түйіспелі дәнекерлеу арқылы біріктіріп, арматуралаушы тор жасап отырады. Арматуралаушы тор 3D баспа барысында жасалатындықтан оның құрылыс 3d принтерінің жылжымалы бөліктері мен шүмекке соғысып қалу қауіпі болмайды.

2. Материалдар мен әдістер

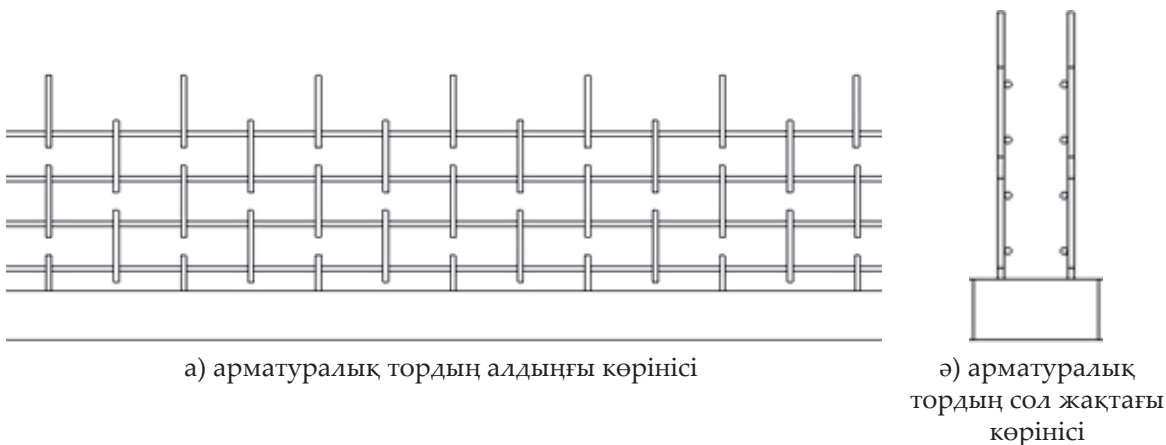
2.1 Арматура

Арматура ретінде диаметрі 6 мм болатын DIN 488-1:2009-08 стандартына сәйкес жасалған бүдірлі болат арматураны таңдалды. Диаметрі 6 мм-лік арматура DIN 488-1:2009-08 стандартындағы 3-кестесіндегі темірбетон үшін қолданылатын арматураның ең кіші диаметрі. Бүдірлі болат арматураның таңдалу себебі оның бетонмен адгезиясы жақсы, яғни бетон мен болат арматура арасында жүктеме жақсы таралады. Диаметрі 6 мм-лік арматура бастапқы кезеңде ұсынылған тұжырымдаманың жұмыс қаблеттілігін тексеру үшін оңтайлы, өйткені ол нақты құрылыста қолданылады және контактілі нүктелік дәнекерлеу кезінде тым көп энергияны қажет етпейді.

2.2 Түйіспелі дәнекерлеу әдісімен стандартты бүдірлі болат арматурадан арматуралық торды құру.

2.2.1 Тұжырымдама бойынша арматуралық торды құру.

Ұсынылып отырған тұжырымдама бойынша арматуралық тор шахмат тақтасына тәріздес орналасқан қысқа тік арматуралық сырықтар мен оларды өзара байланыстыратын ұзын көлденең арматуралық сырықтарды түйіспелі дәнекерлеумен біріктіру арқылы жасалады (1-сурет, а). Құрылған арматуралық тор қабырғаның қалыңдығына және қабырғаға қойылатын талаптарға байланысты бір немесе бірнеше қатардан тұруы мүмкін. Тұжырымдамада құрылыста жиі кездесетін екі қатарлы арматуралық торды (1-сурет, б) ретінде қабылданған. Арматуралық торды құрар алдын іргетас құйылғанда екі қатар тік арматуралық сырықтар іргетасқа белгілі бір қашықтықпен орналастырылуы керек. Аутоматты арматуралаушы механизм сол іргетастан шығып тұратын тік арматуралық сырықтарды база ретінде пайдаланып, соның негізінде арматуралық торларды жасайды. Арматуралық тордағы тік және көлденең арматуралық сырықтардың өзара арақашықтықтары қабырғаның геометриялық параметрлеріне және оған түсетін жүктемеге тікелей байланысты болады. Бірақ, ол арақашықтық бетон кепкенде сызаттанбайтындай қашықтықта болуы керек [34].



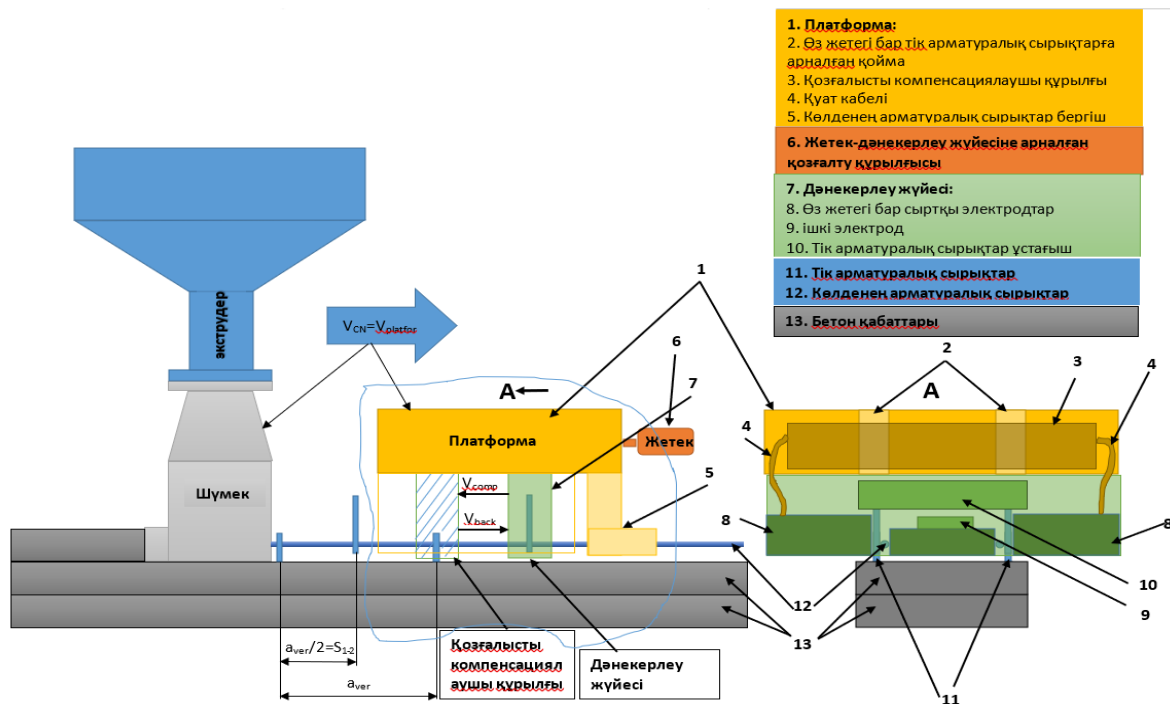
1-сурет. Тұжырымдама сәйкес екі қатарлы арматуралық тор

2.2.2 Тұжырымдаманы жүзеге асыратын аутоматты арматуралау механизмінің жұмыс қағидасы.

Аутоматты арматуралаушы механизмнің құрылымы келесідей (2-сурет): платформа 1 механизмнің базасы болып табылады және шүмектің фланцына бекітіледі де шүмектің алдыңғы жағына орналастырылады; платформаның 1 жоғарғы жағында тік арматуралық сырықтарға арналған қойма 2 орналасқан және арматуралық тор екі қатарлық болғандықтан оның саны да екеу, әрқайсысының өз жетектері бар; сонымен қатар, дәнекерлеу жүйесінің 7 алға-артқа қозғалысын компенсациялаушы құрылғы 3 орналасқан; платформаның 1 төмен жағында көлденең арматуралық сырықтарды бергіш 5 құрылғы орналасқан; түйіспелі дәнекерлеу аппаратынан шыққан кабельдер 4 дәнекерлеу жүйесінде 7 орналасқан өз жетектері бар сыртқы электродтарға 8 жалғанған; және де дәнекерлеу жүйесінде 7 ішкі электрод 9 пен тік арматуралық сырықтарды ұстағыш 10 орналасқан, оның қызметі тік арматуралық сырықтарды 11 көлденең арматуралық сырықтарға 12 біріктіріп дәнекерлеу кезінде тік арматуралық сырықтарды мықтап ұстап тұру.

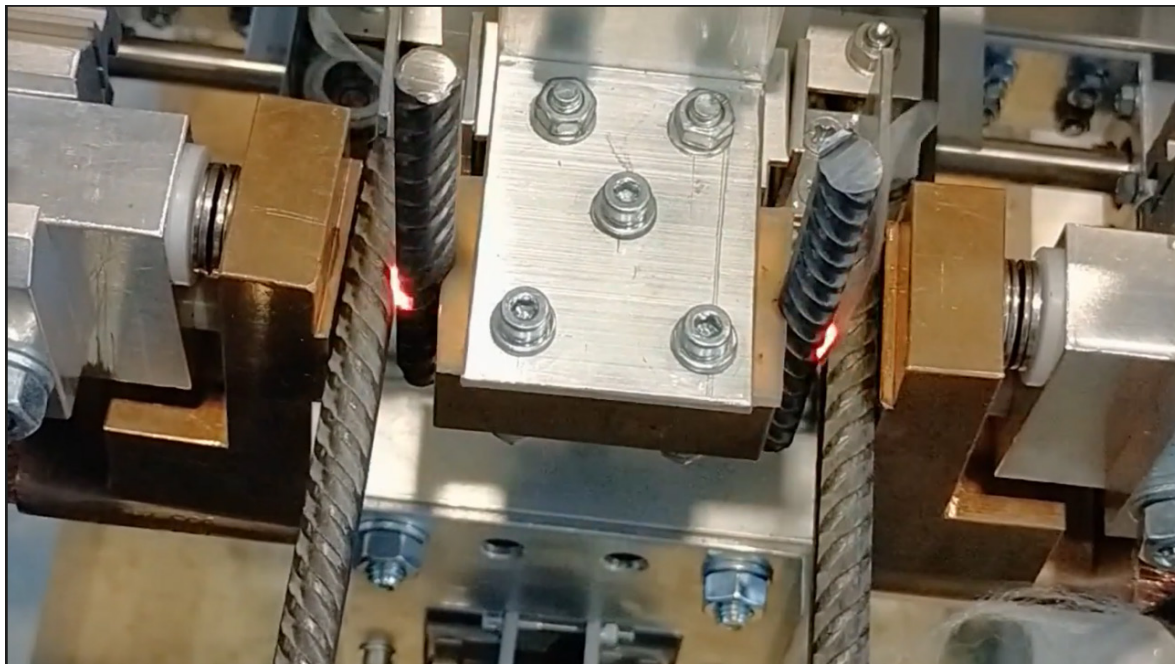
Тұжырымдаманы жүзеге асыратын аутоматты арматуралау механизмінің жұмыс қағидасы келесідей: көлденең арматуралық сырықтарды бергіш құрылғысы дәнекерлеу аймағына ұзындығы 1-2 м болатын көлденең арматуралық сырықтарды аутоматты түрде береді, олар бір-біріне параллель және бірдей биіктікте 50 мм болатын өсаралық қашықтықпен екі қатар болады; тік арматуралық сырықтарды беру құрылғысы қоймадан

автоматты түрде дәнекерлеу аймағына бір-біріне параллель екі тік арматуралық сырықты түсіреді; түйіспелі дәнекерлеу аймағында тік және көлденең арматуралық сырықтар сыртқы және ішкі электродтармен қысылып, бір уақытта екі қатар өте тез дәнекерленеді (шамамен 0,3-0,5 секунд); дәнекерлеу кезінде 3D басып шығару процесі тоқтап қалмас үшін қозғалысты компенсациялаушы құрылғы дәнекерлеу жүйесін автоматты арматуралау механизмінің жүріс бағытына қарама-қарсы бағытта қозғалтады, ал дәнекерлеуден кейін ол тез арада дәнекерлеу жүйесін бастапқы орнына қайтып алып келеді. Осылай аталған қадамдар циклмен арматуралық торды жасап болғанша қайталана береді.



2-сурет. Арматуралаушы механизмнің сұлбасы

Тұжырымдаманың жұмыс қабілеттілігін тексеру үшін аутоматты арматуралаушы механизмнің жұмыс параметрлері анықталып, жобаланып, оның прототипі жасалынды (3-сурет) және оның көмегімен арматуралық тор жасалынып сынақтан өткізілді.



3-сурет. Аутоматты арматуралаушы механизмнің алғашқы прототипі

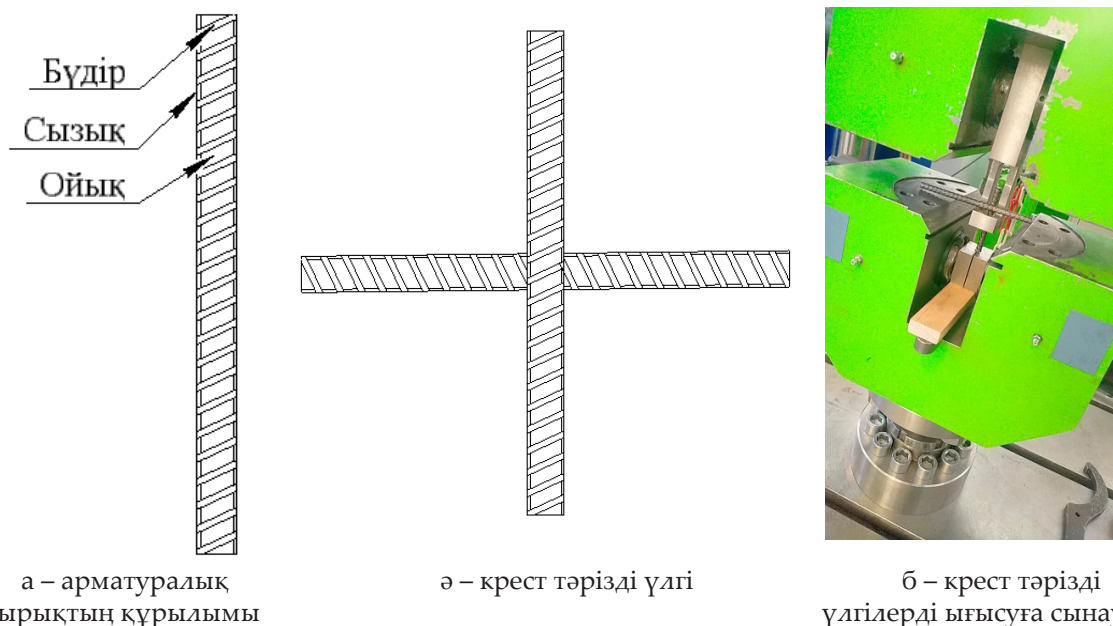
Арматуралаушы механизмнің прототипін пайдаланылып жасалған үлгілердің сынағы мен нәтижелері келесі бөлімде келтірілген.

2.2.3 Түйіспелі дәнекерлеу параметрлері және ығыстыру сынақтары.

Тік және көлденең арматураны қосу үшін нүктелі түйіспелі дәнекерлеу әдісі таңдалды, өйткені, ол арматуралық торларды өндіруде кеңінен қолданылады және ең бастысы, бұл әдіс толығымен стандартталған және DIN 488-4 стандартында сипатталған, яғни тек осы стандартқа сәйкес нәтижелерді алынса, демек, ол құрылыста қолдануға жарамды болады.

Арматуралық сырықтар бір-біріне қатысты әртүрлі комбинацияларда орналастырылған үлгілер жасалды: бүдір бүдірге, ойық ойыққа, ойық бүдірге, сызық сызыққа (4-сурет, а). Барлық жағдайларда арматуралық сырықтар 90 градус бұрышта бір-біріне қатысты айқастырылып орналастырылды (4-сурет, ә) және аутоматты арматуралаушы механизмнің прототипі арқылы түйіспелі дәнекерленіп біріктірілді.

Әр комбинация үшін 5 үлгіден жасалды және DIN EN ISO 15630-2 стандартына сәйкес 800 кН/с тұрақты жүктеме жылдамдығымен 4,б-суретте көрсетілгендей динамомашинанда ығыстырылып сыналды.



4-сурет. Арматуралық сырықтардан крест тәрізді үлгілерді жасау және ығысуға сынау

Үлгілер ығыстыру күшінің әсерінен дәнекерленген жерінен үзіліп кеткенше сыналды. Үлгілерді дайындау кезіндегі түйіспелі дәнекерлеу параметрлері және ығысуға сынақ нәтижелері 3-бөлімдегі 1-кестеде келтірілген.

3. Нәтижелер және талқылау

Бір-біріне қатысты әртүрлі комбинацияларда дәнекерленген диаметрі 6 мм крест тәрізді арматураларды ығысуға сынақтардың нәтижелері 1-кестеде келтірілген. Аталған комбинациялар келесідей болды: бүдір бүдірге, ойық ойыққа, бүдір ойыққа, сызық сызыққа. Сынақ нәтижелері DIN 488-4 стандартында талап етілетін нәтижелерге қол жеткізуге болатындығын көрсетті, ол минималды ығысу Күшін 3,53 кН құрайды (1-кестеде жасылмен боялған мәндер стандарт талабына сай келетін, ал қызылмен боялғандар сай келмейтін нәтижелер). 5-суретте 2-кестедегі мәліметтер талдауға ыңғайлы график түрінде келтірілген. Мұндағы көлденең үзік түзу сызық DIN 488-4 стандартында сәйкес минималды ығысу күші. Сәйкесінше, осы үзік сызықтың жоғары жағындағы және сызықпен беттескен мәндер DIN 488-4 стандартында сай мәндер, ал, оның төменгі жағындағы мәндер стандартқа сай келмейтін мәндер.

«Бүдір бүдірге» комбинациясында (5-сурет, «х» белгіленген) бес үлгінің үшеуі үзік сызықтан жоғары, біреуі беттесіп жатыр, қалған біреуі сәл төмен орналасқан. Бұл бүдір мен бүдір жанасқан жерде түйіспелі дәнекерлеуден кейін бірігу ауданы жетерліктей қалыптасуымен түсіндіруге болады. Ал, үзік сызықтан төмен болып қалған мән түйісетін екі сырықтың бүдірлерінің бір-бірінің қырларымен жанасуынан болуы мүмкін, яғни, бірігу ауданы кішірек болып қалыптасқан.

1-кесте. Диаметрі 6 мм крест тәрізді арматуралық сырықтарды ығыстырып сынау нәтижелері

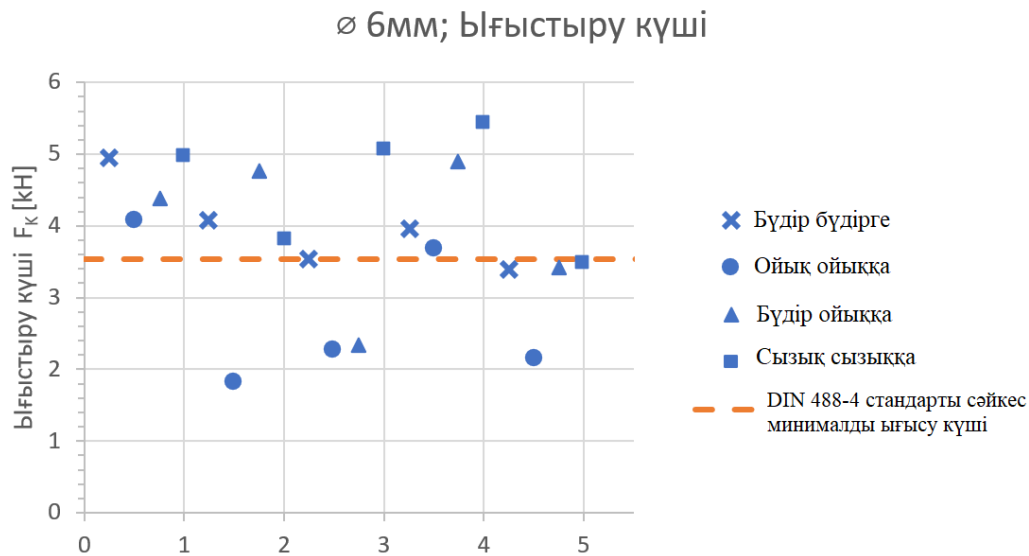
№	Уақыт [с]	Өлшенген ток күші [кА]	Электродтардың қысу күші [кН]	DIN 488-4 стандарты бойынша қажетті ығыстыру күші [кН]	Өлшенген ығыстыру күші [кН]
Сырықтардың орналасуы: бүдір бүдірге					
1	0,3	3	2,5	3,53	4,96
2	0,3	3,1	2,5	3,53	4,08
3	0,3	3,1	2,5	3,53	3,54
4	0,3	3	2,5	3,53	3,97
5	0,3	3,1	2,5	3,53	3,4
Сырықтардың орналасуы: ойық ойыққа					
1	0,3	3,1	2,5	3,53	4,08
2	0,3	3	2,5	3,53	1,83
3	0,3	3,2	2,5	3,53	2,26
4	0,3	3,4	2,5	3,53	3,67
5	0,3	3,3	2,5	3,53	2,14
Сырықтардың орналасуы: бүдір ойыққа					
1	0,3	3,3	2,5	3,53	4,39
2	0,3	3,1	2,5	3,53	4,75
3	0,3	3,2	2,5	3,53	2,35
4	0,3	3,1	2,5	3,53	4,9
5	0,3	3,2	2,5	3,53	3,41
Сырықтардың орналасуы: сызық сызыққа					
1	0,3	2,9	2,5	3,53	4,97
2	0,3	2,9	2,5	3,53	3,81
3	0,3	3	2,5	3,53	5,06
4	0,3	3,1	2,5	3,53	5,44
5	0,3	3	2,5	3,53	3,5

«Ойық ойыққа» комбинациясында (5-сурет, «●» белгіленген) бес үлгінің екеуі үзік сызықтан жоғары, қалған үшеуі төмен орналасқан. Бұл екі жағдайда «ойық ойыққа» дәл түспей, бүдірлердің қырлары бір-бірімен түйісіп, екі не одан да көп бірігу ауданы қалыптасуынан болуы мүмкін. Ал, қалған үш жағдайда ойықтардың түбі бір-біріне бірігіп кететіндей жанаспай қалғаннан болуы мүмкін, яғни, оларды жеткілікті дәрежеде біріктіріп жіберуге ток күші мен электродтардың қысу күші жеткіліксіз болған.

«Бүдір ойыққа» комбинациясында (5-сурет, «▲» белгіленген) бес үлгінің үшеуі үзік сызықтан жоғары, қалған екеуі төмен орналасқан. Үш жағдайда бүдірдің төбесі ойықтың түбіне толық жанасып, жетерліктей бірігу ауданымен түсіндіруге болады. Қалған екі жағдайда бүдірдің төбесі ойықтың түбіне толық жанаспай, бірігу ауданы жеткіліксіз болған.

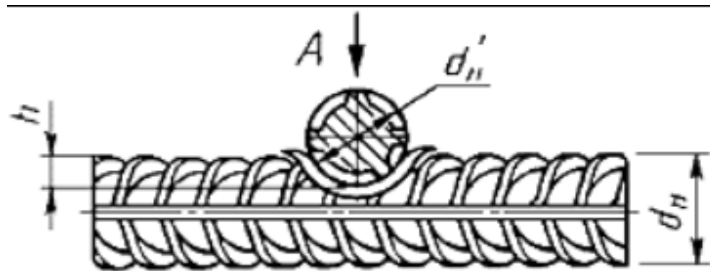
«Сызық сызыққа» комбинациясында (5-сурет, «■» белгіленген) бес үлгінің төртеуі үзік сызықтан жоғары, қалған біреуі үзік сызықпен беттескен. Бес жағдайда да мәндер DIN 488-4 стандартында сай. Бұл сызық пен сызық жанасқанда төртбұрышты аудан пайда болуымен, және ток күшінің әсерінен жанасу нүктесіндегі балқыған сырықтарды электродтардың

жаншу күшінің әсерінен бірігу ауданының үлкеюімен әрі біртұтас болуымен түсіндіруге болады.



5-сурет. Өртүрлі комбинацияларда диаметрі 6 мм крест тәрізді арматуралық сырықтарды ығысуға сынау нәтижелері

ГОСТ 14098-91 стандартында талап тек дәнекерлеу тереңдігіне қойылған және ол келесі тәуелділікте орнатылады: $h / d_n = 0,4-0,8$ немесе минимум $h / d_n = 0,2$ (6-сурет). Бірақ, ол талапқа қол жеткізу үшін дәнекерлеу тоғын 5-6 кА дейін арттыру қажет [35], бұл дәнекерлеу генераторының қуатын арттыруға, сәйкесінше оның салмағын арттыруға әкеледі. Яғни, түйіспелі дәнекерленуші арматуралық сырықтардың диаметрі үлкейген сайын ток күші мен электродтардың қысу күші де еселеп көбейе береді, ал, ол өз кезегінде аутоматты арматуралаушы механизмнің салмағын арттырады.



6-сурет. ГОСТ 14098-91 стандартының талабы бойынша дәнекерлеу тереңдігі

Демек, егер құрылыс 3D принтерінің жүк көтергіштік қабілеті айтарлықтай көп болса, онда аутоматты арматуралаушы механизмді қуатты дәнекерлеу генераторы мен электродтарды жаншыйтын механизмдермен жабдықтап, жоғарыда келтірілген арматуралық сырықтардың комбинацияларын елемесе болады. Бастысы ГОСТ 14098-91 стандарты талап ететін дәнекерлеу тереңдігі қамтамасыз етілсе жеткілікті. Ал, егер аутоматты арматуралаушы механизмінің салмағын жеңілдету қажет болса, онда арматуралық сырықтарды қажетті комбинацияда бағдарлап тұратын қосымша құрылғымен және датчиктермен жабдықтау қажет. Оны жүзеге асыру салыстырмалы түрде аз энергия шығындарымен және салмақтың аз өсуімен жасауға болады.

4. Қорытынды

Бұл жұмыста 3D баспалық бетонды 3D баспа барысында арматуралау мәселесін шешу мақсатында түйіспелі дәнекерлеу әдісін пайдаланып, аутоматты режимде екі қатарлы арматуралаушы тор құратын аутоматты арматуралаушы механизмнің тұжырымдамасы ұсынылды. Ұсынылған тұжырымдама бойынша оның прототипі жасалынды. Тұжырымдаманың жұмыс қабілеттілігін тексеру үшін әртүрлі («бүдір бүдірге», «бүдір ойыққа», «ойық ойыққа» және «сызық сызыққа») комбинацияларда крест тәріздес үлгілер түйіспелі дәнекерленіп жасалды, сол арқылы прототиптің барлық бөліктерінің жұмысы тексерілді. Түйіспелі дәнекерлеу әдісін пайдаланып аутоматты режимде жасалатын арматуралаушы тордың механикалық қасиеттері DIN 488-4 стандартының талаптарына сәйкестігін анықтау үшін жасалған крест тәріздес үлгілер динамомашинанда ығыстыру әдісімен үзіп тексерілді. Барлық комбинацияларда DIN 488-4 стандартының талаптарын қанағаттандыратын нәтижелер алынды. Сөйтіп, ұсынылған тұжырымдаманың жұмыс қабілеттігі дәлелденді және зерттеу бағытының дұрыс әрі болашағы бар екенін көрсетті.

Зертханалық сынақ нәтижелері бойынша «сызық сызыққа» комбинациясының ең тиімді әрі сенімді екені анықталды. Осы тұста тұжырымдама бойынша зерттеуді екі бағытта дамытуға боланытыны анықталды. Біріншісі, энергия аз тұтынатын және баспа бастиегінің салмағына шектеу қойылатын жағдайлар үшін тік және көлденең арматуралық сырықтарды дәнекерлеу аймағына «сызық сызыққа» комбинациясы болатындай бағдарлайтын қосымша құрылғымен жабдықтау, яғни, арматуралық сырықтарды танып-білетін автоматтандырылған жүйелерді қоса зерттеу. Екіншісі, энергия мен салмаққа, және де арматуралық сырықтар комбинациясына көңіл аудармай, тек арматуралық тордың қажетті механикалық сипаттамаларын алу үшін зерттеу жұмыстарын жүргізу.

Раптау

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Білім және ғылым министрлігінің Ғылым комитеті қаржыландырды: Грант №AP19178044 «Әскери мақсаттағы құрылыс объектілерін салуға арналған құрылыс 3D принтерінің баспа бастиегін жобалау және әзірлеу».

Әдебиеттер

1. Hull C. W. The birth of 3D printing //Research-Technology Management. – 2015. – Vol. 58. – №. 6. – P. 25-30.
2. Сағынтай М., Байгунчеков Ж. Бетонды қабаттап құятын 3d принтерлердің конструкцияларын талдау // Engineering Journal of Satbayev University. – 2021. – Т. 143(1). – Б. 120–127. <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.v143.i1.16>
3. Zhibin Wang, Lutao Jia, Zhicong Deng, Chao Zhang, Zedi Zhang, Chun Chen, Jinlong Pan, Yamei Zhang. Bond behavior between steel bars and 3D printed concrete: Effect of concrete rheological property, steel bar diameter and paste coating //Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128708>.
4. Shaodan Hou, Zhenhua Duan, Jianzhuang Xiao, Jun Ye. A review of 3D printed concrete: Performance requirements, testing measurements and mix design //Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 273. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121745>.
5. Ehsan Hosseini, Mohammad Zakertabrizi, Asghar Habibnejad Korayem, Guanzhong Xu. A novel method to enhance the interlayer bonding of 3D printing concrete: An experimental and computational investigation // Cement and Concrete Composites.– 2019. – Vol. 99. – P. 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.03.008>.
6. Jay G. Sanjayan, Behzad Nematollahi, Ming Xia, Taylor Marchment. Effect of surface moisture on inter-layer strength of 3D printed concrete // Construction and Building Materials.– 2018. – Vol. 172. – P. 468-475. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.232>.

7. Yi Wei Daniel Tay, Guan Heng Andrew Ting, Ye Qian, Biranchi Panda, Lewei He & Ming Jen Tan. Time gap effect on bond strength of 3D-printed concrete // *Virtual and Physical Prototyping*. – 2019. Vol. 14:1. – P. 104-113. <https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1500420>
8. Yun-Chen Wu, Mo Li, Effects of Early-Age rheology and printing time interval on Late-Age fracture characteristics of 3D printed concrete // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 351. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128559>.
9. Yiwen Wu, Chao Liu, Huawei Liu, Zhenzi Zhang, Chunhui He, Shuhua Liu, Rongfei Zhang, Youqiang Wang, Guoliang Bai. Study on the rheology and buildability of 3D printed concrete with recycled coarse aggregates // *Journal of Building Engineering*. – 2021. – Vol. 42. <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2021.103030>.
10. V.N. Nerella, M. Näther, A. Iqbal, M. Butler, V. Mechtcherine, Inline quantification of extrudability of cementitious materials for digital construction // *Cement and Concrete Composites*. – 2019. – Vol. 95. – P. 260-270. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.09.015>.
11. Spandana Paritala, Kailash Kumar Singaram, Indira Bathina, Mohd Ataulah Khan, Sri Kalyana Rama Jyosyula. Rheology and pumpability of mix suitable for extrusion-based concrete 3D printing – A review // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 402. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132962>.
12. Yilong Han, Zhihan Yang, Tao Ding, Jianzhuang Xiao. Environmental and economic assessment on 3D printed buildings with recycled concrete // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – Vol. 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123884>.
13. Domenico Asprone, Costantino Menna, Freek P. Bos, Theo A.M. Salet, Jaime Mata-Falcón, Walter Kaufmann. Rethinking reinforcement for digital fabrication with concrete // *Cement and Concrete Research*. – 2018. – Vol. 112. – P. 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.020>.
14. Taylor Marchment, Jay Sanjayan. Reinforcement method for 3D concrete printing using paste-coated bar penetrations // *Automation in Construction*. – 2021. – Vol. 127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103694>.
15. Bos F., Zeeshan Y. Ahmed, Evgeniy R. Jutinov, Theo A. M. Salet. Experimental Exploration of Metal Cable as Reinforcement in 3D Printed Concrete // *Materials*. – 2017. – Vol. 10. – P. 1314. <https://doi.org/10.3390/ma10111314>
16. Zhijian Li, Guowei Ma, Fang Wang, Li Wang, Jay Sanjayan. Expansive cementitious materials to improve micro-cable reinforcement bond in 3D concrete printing // *Cement and Concrete Composites*. – 2022. – Vol. 125. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104304>.
17. Guowei Ma, Zhijian Li, Li Wang, Gang Bai. Micro-cable reinforced geopolymer composite for extrusion-based 3D printing // *Materials Letters*. – 2019. – Vol. 235. – P. 144-147. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.09.159>.
18. Jianzhuang Xiao, Zixuan Chen, Tao Ding, Shuai Zou, Bending behaviour of steel cable reinforced 3D printed concrete in the direction perpendicular to the interfaces // *Cement and Concrete Composites*. – 2022. – Vol. 125. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104313>.
19. Maryam Hojati, Ali M. Memari, Mehrzad Zahabi, Zhengyu Wu, Zhanzhao Li, Keunhyoung Park, Shadi Nazarian, José P. Duarte. Barbed-wire reinforcement for 3D concrete printing // *Automation in Construction*. – 2022. – Vol. 141. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104438>.
20. F. P. Bos, E. Bosco & T. A. M. Salet. Ductility of 3D printed concrete reinforced with short straight steel fibers // *Virtual and Physical Prototyping*. – 2019. – Vol. 14:2. – P. 160-174. <https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1548069>
21. Luong Pham, Phuong Tran, Jay Sanjayan. Steel fibres reinforced 3D printed concrete: Influence of fibre sizes on mechanical performance // *Construction and Building Materials*. – 2020. – Vol. 250. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118785>.
22. Perrot A. Jacquet Y, Rangeard D, Courteille E, Sonebi M. Nailing of Layers: A Promising Way to Reinforce Concrete 3D Printing Structures // *Materials*. – 2020. – Vol. 13. – P. 1518. <https://doi.org/10.3390/ma13071518>
23. I Wang, Guowei Ma, Tianhao Liu, Richard Buswell, Zhijian Li. Interlayer reinforcement of 3D printed concrete by the in-process deposition of U-nails // *Cement and Concrete Research*. – 2021. – Vol. 148. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106535>.
24. Taylor Marchment, Jay Sanjayan. Mesh reinforcing method for 3D Concrete Printing // *Automation in Construction*. – 2020. – Vol. 109. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102992>.
25. Mechtcherine V., Michel A, Liebscher M, Schmeier T. Extrusion-Based Additive Manufacturing with Carbon Reinforced Concrete: Concept and Feasibility Study // *Materials*. – 2020. – Vol. 13. – P. 2568.

26. Tao Ding, Fei Qin, Jianzhuang Xiao, Xiaoming Chen, Zibo Zuo. Experimental study on the bond behaviour between steel bars and 3D printed concrete // *Journal of Building Engineering*. – 2022. – Vol. 49. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104105>.
27. Zhibin Wang, Lutao Jia, Zhicong Deng, Chao Zhang, Zedi Zhang, Chun Chen, Jinlong Pan, Yamei Zhang. Bond behavior between steel bars and 3D printed concrete: Effect of concrete rheological property, steel bar diameter and paste coating // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128708>.
28. A. Aramburu, I. Calderon-Uriszar-Aldaca, I. Puente. Bonding strength of steel rebars perpendicular to the hardened 3D-printed concrete layers // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 340. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127827>.
29. Miao Liu, Li Wang, Guowei Ma, Weiwei Li, Yuanyuan Zhou. U-type steel wire mesh for the flexural performance enhancement of 3D printed concrete: A novel reinforcing approach // *Materials Letters*. – 2023. – Vol. 331. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.133429>.
30. <https://www.youtube.com/shorts/bMlvx9u4kkA>
31. <https://www.youtube.com/shorts/b97-PX8HIU>
32. Domenico Asprone, Ferdinando Auricchio, Costantino Menna, Valentina Mercuri. 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach // *Construction and Building Materials*. – 2018. – Vol. 165. – P. 218-231. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.018>.
33. Lukas Gebhard, Jaime Mata-Falcón, Ana Anton, Benjamin Dillenburger, Walter Kaufmann. Structural behaviour of 3D printed concrete beams with various reinforcement strategies // *Engineering Structures*. – 2021. – Vol. 240. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112380>.
34. Kämpfe, Hansgerd: *Bewehrungstechnik: Grundlagen - Praxis - Beispiele - Wirtschaftlichkeit*. 2. Aufl. Wiesbaden. – Springer Vieweg. – 2020. – S. 184-185.
35. Scotchmer, Nigel. The Other Resistance Process: Cross Wire Welding // *In: Welding Journal*. – 2007. – Vol. 12. – P. 36-39.

Автоматический армирующий механизм для армирования 3D печатного бетона

М.К. Сагынтай¹, А.К. Мустафа¹, Е.З. Нугман¹

¹Сатбаев университет, город Алматы, Казахстан

Аннотация. Одной из актуальных проблем аддитивной технологии в строительстве на сегодняшний день является армирование 3D печатного бетона. Исследования, проведенные до сих пор, доказали, что при армировании 3D печатного бетона только при использовании стандартной арматуры из рифленой стали ее механические свойства приближаются к свойствам традиционного железобетона. Теперь вопрос, который необходимо решить, заключается в том, чтобы автоматизировать процесс армирования бетона, напечатанного на 3D-принтере, стандартной рифленой стальной арматурой. В целях решения данной проблемы в данной работе разработана концепция автоматического армирующего механизма, образующего двухрядную армирующую сетку в автоматическом режиме с использованием метода контактной сварки, разработан его прототип в соответствии с той же концепцией и проведены лабораторные испытания для проверки работоспособности. В частности, с целью определения соответствия механических свойств армирующей сетки, изготавливаемой в автоматическом режиме методом контактной сварки, требованиям стандарта DIN 488-4 и проверки системы контактной сварки прототипа, были изготовлены крестообразные образцы и проверены методом на срез на динамомашине. Кроме того, проверена работоспособность всех систем прототипа автоматического армирующего механизма. Таким образом, доказана работоспособность предложенной концепции.

Ключевые слова: 3D напечатанный бетон, аддитивная технология в строительстве, стандартная стальная арматура, армирование бетона, автоматический армирующий механизм.

An automatic reinforcement mechanism for reinforcing the 3D printed concrete

M.K. Sagyntay¹, A.K. Mustafa¹, E.Z. Nugman¹

¹Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

Annotation. One of the pressing problems of additive technology in construction today is the reinforcement of 3D printed concrete. Research conducted so far has proven that when reinforcing 3D printed concrete, only when using standard corrugated steel reinforcement, its mechanical properties approach those of traditional reinforced concrete. Now the question that needs to be solved is how to automate the process of reinforcing 3D printed concrete with standard grooved steel rebar. In order to solve this problem, this work developed the concept of an automatic reinforcing mechanism that forms a double-row reinforcing mesh automatically using the resistance welding method, developed its prototype in accordance with the same concept, and carried out laboratory tests to verify its performance. In particular, in order to determine the compliance of the mechanical properties of the reinforcing mesh, produced automatically by the resistance welding method, with the requirements of the DIN 488-4 standard and to test the prototype resistance welding system, cross-shaped samples were made and tested by the shear method on a dynamo. In addition, the performance of all systems of the prototype automatic reinforcing mechanism was tested. Thus, the efficiency of the proposed concept has been proven.

Keywords: 3D printed concrete, additive technology in construction, standard steel reinforcement, concrete reinforcement, automatic reinforcing mechanism.

References

1. Hull C. W. The birth of 3D printing //Research-Technology Management. – 2015. – Vol. 58. – №. 6. – P. 25-30.
2. Sagyntay M., Baigunchekov Zh. Analysis of the design of 3d printers for layer by layer concrete pouring. // Engineering Journal of Satbayev University. – 2021. – Vol. 143(1). – P. 120–127. <https://doi.org/10.51301/vest.su.2021.v143.i1.16>
3. Zhibin Wang, Lutao Jia, Zhicong Deng, Chao Zhang, Zedi Zhang, Chun Chen, Jinlong Pan, Yamei Zhang. Bond behavior between steel bars and 3D printed concrete: Effect of concrete rheological property, steel bar diameter and paste coating //Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128708>.
4. Shaodan Hou, Zhenhua Duan, Jianzhuang Xiao, Jun Ye. A review of 3D printed concrete: Performance requirements, testing measurements and mix design //Construction and Building Materials. – 2021. – Vol. 273. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.121745>.
5. Ehsan Hosseini, Mohammad Zakertabrizi, Asghar Habibnejad Korayem, Guanzhong Xu. A novel method to enhance the interlayer bonding of 3D printing concrete: An experimental and computational investigation // Cement and Concrete Composites.– 2019. – Vol. 99. – P. 112-119. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2019.03.008>.
6. Jay G. Sanjayan, Behzad Nematollahi, Ming Xia, Taylor Marchment. Effect of surface moisture on inter-layer strength of 3D printed concrete // Construction and Building Materials.– 2018. – Vol. 172. – P. 468-475. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.03.232>.
7. Yi Wei Daniel Tay, Guan Heng Andrew Ting, Ye Qian, Biranchi Panda, Lewei He & Ming Jen Tan. Time gap effect on bond strength of 3D-printed concrete // Virtual and Physical Prototyping. – 2019. Vol. 14:1. – P. 104-113. <https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1500420>
8. Yun-Chen Wu, Mo Li, Effects of Early-Age rheology and printing time interval on Late-Age fracture characteristics of 3D printed concrete // Construction and Building Materials. – 2022. – Vol. 351. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128559>.
9. Yiwen Wu, Chao Liu, Huawei Liu, Zhenzi Zhang, Chunhui He, Shuhua Liu, Rongfei Zhang, Youqiang Wang, Guoliang Bai. Study on the rheology and buildability of 3D printed concrete with recycled coarse aggregates // Journal of Building Engineering. – 2021. – Vol. 42. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2021.103030>.
10. V.N. Nerella, M. Näther, A. Iqbal, M. Butler, V. Mechtcherine, Inline quantification of extrudability of cementitious materials for digital construction // Cement and Concrete Composites. – 2019. – Vol. 95. – P. 260-270. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2018.09.015>.

11. Spandana Paritala, Kailash Kumar Singaram, Indira Bathina, Mohd Ataulloh Khan, Sri Kalyana Rama Jyosyula. Rheology and pumpability of mix suitable for extrusion-based concrete 3D printing – A review // *Construction and Building Materials*. – 2023. – Vol. 402. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.132962>.
12. Yilong Han, Zhihan Yang, Tao Ding, Jianzhuang Xiao. Environmental and economic assessment on 3D printed buildings with recycled concrete // *Journal of Cleaner Production*. – 2021. – Vol. 278. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2020.123884>.
13. Domenico Asprone, Costantino Menna, Freek P. Bos, Theo A.M. Salet, Jaime Mata-Falcón, Walter Kaufmann. Rethinking reinforcement for digital fabrication with concrete // *Cement and Concrete Research*. – 2018. – Vol. 112. – P. 111-121. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2018.05.020>.
14. Taylor Marchment, Jay Sanjayan. Reinforcement method for 3D concrete printing using paste-coated bar penetrations // *Automation in Construction*. – 2021. – Vol. 127. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2021.103694>.
15. Bos F., Zeeshan Y. Ahmed, Evgeniy R. Jutinov, Theo A. M. Salet. Experimental Exploration of Metal Cable as Reinforcement in 3D Printed Concrete // *Materials*. – 2017. – Vol. 10. – P. 1314. <https://doi.org/10.3390/ma10111314>
16. Zhijian Li, Guowei Ma, Fang Wang, Li Wang, Jay Sanjayan. Expansive cementitious materials to improve micro-cable reinforcement bond in 3D concrete printing // *Cement and Concrete Composites*. – 2022. – Vol. 125. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104304>.
17. Guowei Ma, Zhijian Li, Li Wang, Gang Bai. Micro-cable reinforced geopolymer composite for extrusion-based 3D printing // *Materials Letters*. – 2019. – Vol. 235. – P. 144-147. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2018.09.159>.
18. Jianzhuang Xiao, Zixuan Chen, Tao Ding, Shuai Zou, Bending behaviour of steel cable reinforced 3D printed concrete in the direction perpendicular to the interfaces // *Cement and Concrete Composites*. – 2022. – Vol. 125. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2021.104313>.
19. Maryam Hojati, Ali M. Memari, Mehrzad Zahabi, Zhengyu Wu, Zhanzhao Li, Keunhyoung Park, Shadi Nazarian, José P. Duarte. Barbed-wire reinforcement for 3D concrete printing // *Automation in Construction*. – 2022. – Vol. 141. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2022.104438>.
20. F. P. Bos, E. Bosco & T. A. M. Salet. Ductility of 3D printed concrete reinforced with short straight steel fibers // *Virtual and Physical Prototyping*. – 2019. – Vol. 14:2. – P. 160-174. <https://doi.org/10.1080/17452759.2018.1548069>
21. Luong Pham, Phuong Tran, Jay Sanjayan. Steel fibres reinforced 3D printed concrete: Influence of fibre sizes on mechanical performance // *Construction and Building Materials*. – 2020. – Vol. 250. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.118785>.
22. Perrot A. Jacquet Y, Rangedard D, Courteille E, Sonebi M. Nailing of Layers: A Promising Way to Reinforce Concrete 3D Printing Structures // *Materials*. – 2020. – Vol. 13. – P. 1518. <https://doi.org/10.3390/ma13071518>
23. I Wang, Guowei Ma, Tianhao Liu, Richard Buswell, Zhijian Li. Interlayer reinforcement of 3D printed concrete by the in-process deposition of U-nails // *Cement and Concrete Research*. – 2021. – Vol. 148. <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2021.106535>.
24. Taylor Marchment, Jay Sanjayan. Mesh reinforcing method for 3D Concrete Printing // *Automation in Construction*. – 2020. – Vol. 109. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2019.102992>.
25. Mechtcherine V., Michel A, Liebscher M, Schmeier T. Extrusion-Based Additive Manufacturing with Carbon Reinforced Concrete: Concept and Feasibility Study // *Materials*. – 2020. – Vol. 13. – P. 2568.
26. Tao Ding, Fei Qin, Jianzhuang Xiao, Xiaoming Chen, Zibo Zuo. Experimental study on the bond behaviour between steel bars and 3D printed concrete // *Journal of Building Engineering*. – 2022. – Vol. 49. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2022.104105>.
27. Zhibin Wang, Lutao Jia, Zhicong Deng, Chao Zhang, Zedi Zhang, Chun Chen, Jinlong Pan, Yamei Zhang. Bond behavior between steel bars and 3D printed concrete: Effect of concrete rheological property, steel bar diameter and paste coating // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 349. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.128708>.
28. A. Aramburu, I. Calderon-Uriszar-Aldaca, I. Puente. Bonding strength of steel rebars perpendicular to the hardened 3D-printed concrete layers // *Construction and Building Materials*. – 2022. – Vol. 340. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.127827>.
29. Miao Liu, Li Wang, Guowei Ma, Weiwei Li, Yuanyuan Zhou. U-type steel wire mesh for the flexural performance enhancement of 3D printed concrete: A novel reinforcing approach // *Materials Letters*. – 2023. – Vol. 331. <https://doi.org/10.1016/j.matlet.2022.133429>.
30. <https://www.youtube.com/shorts/bMlvx9u4kkA>
31. <https://www.youtube.com/shorts/b97-PX8HIU>

32. Domenico Asprone, Ferdinando Auricchio, Costantino Menna, Valentina Mercuri. 3D printing of reinforced concrete elements: Technology and design approach // Construction and Building Materials. – 2018. – Vol. 165. – P. 218-231. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.01.018>.

33. Lukas Gebhard, Jaime Mata-Falcón, Ana Anton, Benjamin Dillenburger, Walter Kaufmann. Structural behaviour of 3D printed concrete beams with various reinforcement strategies // Engineering Structures. – 2021. – Vol. 240. <https://doi.org/10.1016/j.engstruct.2021.112380>.

34. Kämpfe, Hansgerd: Bewehrungstechnik: Grundlagen - Praxis - Beispiele - Wirtschaftlichkeit. 2. Aufl. Wiesbaden. – Springer Vieweg. – 2020. – S. 184-185.

35. Scotchmer, Nigel. The Other Resistance Process: Cross Wire Welding // In: Welding Journal. – 2007. – Vol. 12. – P. 36–39.

Сведения об авторах:

Қаз.:

М.Қ. Сағынтай – аға оқытушы, Сәтбаев университеті, Сәтбаев көш. 22, Алматы қ., Қазақстан, тел: +77024630897, E-mail: mukhagali.sagyntay@gmail.com.

А.Қ. Мұстафа – доктор PhD, қауымдасқан профессор, Сәтбаев университеті, Сәтбаев көш. 22, Алматы қ., Қазақстан, тел: +77075233344, E-mail: mustafa_azamat@mail.ru.

Е.З. Нұғман – доктор PhD, кафедра меңгерушісі, Сәтбаев университеті, Сәтбаев көш. 22, Алматы қ., Қазақстан, тел: +77075233344, E-mail: e.nugman@satbayev.university.

Рус.:

М.К. Сағынтай – старший преподаватель, Сатбаев университет, ул. Сатбаев 22, г. Алматы, Казахстан, тел: +77024630897, E-mail: mukhagali.sagyntay@gmail.com.

А.Қ. Мұстафа – доктор PhD, ассоциированный профессор, Сатбаев университет, ул. Сатбаев 22, г. Алматы, Казахстан, тел: +77075233344, E-mail: mustafa_azamat@mail.ru.

Е.З. Нұғман – доктор PhD, заведующий кафедры, Сатбаев университет, ул. Сатбаев 22, г. Алматы, Казахстан, тел: +77075233344, E-mail: e.nugman@satbayev.university.

Англ.:

M.K. Sagyntai – senior lecturer, Satbayev University, 22 Satbaev st., Almaty, Kazakhstan, phone: +77024630897, E-mail: mukhagali.sagyntay@gmail.com.

A.K. Mustafa – PhD, Associate Professor, Satbayev University, 22 Satbaev st., Almaty, Kazakhstan, phone: +77075233344, E-mail: mustafa_azamat@mail.ru.

E.Z. Nugman – PhD, head of department, Satbayev University, 22 Satbaev st., Almaty, Kazakhstan, tel: +77075233344, E-mail: e.nugman@satbayev.university.

Нурлыбек Мырзабеков¹, Абдикарим Каражанов¹

¹Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

E-mail: nurlybekmyrzabekov@mail.ru

Обоснование годовой программы транспортного предприятия

Аннотация. Вопросы оптимизации экономических и трудовых затрат занимают значительное место в производственной деятельности транспортных компаний. Они зависят от социально-экономической ситуации, объективных причин производственного характера, наличия соответствующей материально-технической базы, а также эффективного использования и компетентности менеджмента предприятия. Представляется актуальным создание программы транспортного предприятия по повышению эффективности производственной деятельности. Поэтому в исследовании приведены характеристики рабочей программы (портфеля заказов) станций технического обслуживания автомобилей в современных условиях и сделан акцент на обеспечение их стабильности. Основными инструментами послужили математическое моделирование и методы математико-статистического анализа, хотя существенное значение имели также анализ, синтез, сравнение и другие методики. Авторы представляют производственную программу автосервиса как сумму отказов и неисправностей, поступающих на предприятие в случайном порядке. Результаты экспериментальных исследований подверглись анализу на основе теории вероятностей и математической статистики, в ходе которого были получены математические модели годовой программы и вероятностей ее распределения на заданном интервале времени. Авторами рекомендованы мероприятия по оптимизации производственной программы за счет обеспечения равномерной загрузки конструкций автосервиса. Изучение многочисленных теоретических вопросов может проводиться на этапе проектирования производственных участков для более точных прогнозов. Существуют теоретические методики, основанные на определенных результатах, которые подходят для проектирования автосервисов. Одной из них является расчет годовой программы предприятия на основе группировки количества автомобилей, поступающих на участок. Данная статья позволяет по-новому взглянуть на формирование программ, связанных с автосервисами.

Ключевые слова: Автомобилизация, транспортные средства, автосервис, закон Пуассона, случайные процессы, Уравнения регрессии.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-250-264

1. Введение

Транспортная отрасль играет важную роль в экономическом развитии как страны, так и ее предприятий. Развитая транспортная инфраструктура в любой геополитической единице создает основу для широкой экономической деятельности: она способствует перевозке пассажиров и грузов через логистические пункты, расширяя экономические возможности и тем самым повышая уровень жизни в стране [1]. То же самое относится и к бизнесу, где правильно организованная логистика не только обеспечивает своевременную доставку всех запланированных заказов, но и повышает конкурентные позиции компании

и увеличивает ее прибыль [2]. Поэтому обеспечение бесперебойной работы транспортных компаний является важнейшей задачей не только для этих поставщиков услуг, но и для других предприятий и экономики в целом [3]. Это делает актуальным рассмотрение и поиск новых методов повышения их эффективности. Так, в данной работе авторы сравнили эмпирические данные по отказам с их теоретическими значениями на основе данных действующей станции технического обслуживания легковых автомобилей (СТОА) в г. Актобе. Кроме того, авторы описали особенности формирования программ транспортных компаний в современных условиях.

Над этой и смежными проблемами работало значительное число ученых. Среди них следует отметить Р.У. Маккуэйда, М. Грейга, А. Смита и Дж. Купера [3], которые в обширном труде описали многие аспекты деятельности транспортных компаний, включая их роль в экономическом процветании страны. В свою очередь, А.Н. Семернин и др. [4] разработали годовую программу транспортной компании, но использовали другую методику ее формирования, основанную на учете износа транспортных средств. Хотя она представляется достаточно односторонней, ее можно умело использовать вместе с описанной в данной работе, что позволит повысить эффективность формирования годовой программы. Аналогичные методы создания годовой методики представлены в работах О.С. Тамера и др [5]. В своей работе они рассмотрели эмпирические данные Северной объединенной компании для составления ее годовой программы. О.Н. Яркова и А.В. Труфанова [6] выполнили еще одну работу с использованием описанной методики для обоснования годовой программы транспортной компании, где также использовались данные об износе транспортных средств, годовом пробеге и объеме перевозок. Однако стоит отметить, что их методика повторяла схему, представленную в данном исследовании. Тем не менее, благодаря наличию других ключевых показателей, описанные принципы могут свободно использоваться компаниями в сочетании с другими методами для достижения еще большей эффективности транспортных предприятий.

Производственный процесс транспортных компаний охватывает ряд взаимосвязанных этапов, которые в совокупности обеспечивают эффективное перемещение товаров, услуг и людей. Начиная с тщательного планирования и составления расписания, он переходит в подготовку транспортных средств, погрузку и упаковку, отправку с четкой коммуникацией [1]. По мере движения транспортных средств по заданным маршрутам осуществляется непрерывный мониторинг, обеспечивающий продвижение и своевременное информирование клиентов. В пункте назначения происходит разгрузка и распределение грузов, что сопровождается тщательным документированием и отчетностью для обеспечения точности.

Цикл продолжается техническим обслуживанием после поездки, гарантирующим оптимальное состояние транспортных средств для последующих рейсов. В основе этого процесса лежит стремление к постоянному совершенствованию, основанное на анализе данных для улучшения маршрутов, снижения затрат и модернизации технологий [3]-[5]. По сути, производственный процесс транспортных компаний представляет собой сложный, но слаженный балет, обеспечивающий бесперебойное перемещение грузов и людей и способствующий функционированию экономики и общества в целом.

Актуальность исследования заключается в комплексной оценке роли транспортной отрасли в развитии страны. Поэтому целью исследования является изучение особенностей функционирования транспортных предприятий (на основе эмпирических данных автосервиса г. Актобе) и описание на их основе методики формирования годовой программы транспортных предприятий. Объектом исследования являются непосредственно эмпирические данные о деятельности предприятий г. Актобе.

2. Методы

В работе рассматриваются особенности формирования и реализации производственной программы деятельности предприятия на примере действующей станции технического обслуживания легковых автомобилей в г. Актобе. В работе представлены результаты полевых наблюдений за потоком случайных заявок от клиентов предприятия по ремонту дефектов и отказов легковых автомобилей в течение календарного года. В теории технической эксплуатации эти явления относятся к дискретным случайным процессам, протекающими в непрерывном времени. В технических приложениях - это Марковские случайные процессы, которые, в частности, показывают, что вероятность нахождения объектов в том или ином состоянии не зависит от того, как и когда данные объекты пришли в это состояние, а зависит только от того, в каком состоянии они находятся сейчас. При статистической обработке использовались элементы теории вероятностей и теории массового обслуживания [7]-[9]. Объектами наблюдения являлось количество пассажирских вагонов, основных узлов и агрегатов, поступающих на предприятие для проведения технического обслуживания, ремонта и устранения неисправностей. Отметим, что приведенные данные составляют номинальную основу годовой программы и годового объема работы предприятия. Помимо статистической и аналитической составляющих существует также теоретическая часть. В ней описываются особенности формирования годовой программы транспортного предприятия и указывается роль транспортных предприятий в функционировании других предприятий и экономики страны в целом.

Методология исследования, применявшаяся в данной работе, в основном базировалась на эмпирических методах с акцентом на статистический и математический анализ массивов данных. В качестве основных приемов использовались графические представления, корреляционные и регрессионные модели, описание функций распределения с помощью закона Пуассона. Эти эмпирические методы способствовали качественному анализу исследуемых данных, что позволило провести сравнение с теоретическим прототипом и получить важные для решения задач исследования выводы. Существенную роль в формировании результатов исследования сыграли и взаимодополняющие методы исследования. В частности, метод анализа имел первостепенное значение, учитывая большой объем эмпирических статистических и теоретических данных, обработанных в ходе исследования. Применение методов синтеза, дедукции и абстрагирования способствовало достижению поставленных целей, повышая глубину понимания и интерпретации полученных результатов.

Важным аспектом методологии является сравнительный подход. Он включал в себя всестороннее изучение методик, используемых другими учеными при формировании годовых программ в транспортных компаниях. Сравнение было направлено на оценку отличительных признаков этих методик от подхода, описанного в данной работе. Сопоставление этих методик позволило получить более широкую перспективу и более глубокое понимание уникальности и эффективности предлагаемой методики. По сути, методология представляет собой целостное сочетание эмпирических методов, включающих статистический и математический анализ, а также такие взаимодополняющие методы, как анализ, синтез, дедукция и абстрагирование. Включение сравнительного анализа позволило обогатить результаты исследования за счет сопоставления различных методологий, используемых в данной области.

Весь процесс написания работы можно разделить на несколько этапов. На первом этапе были кратко рассмотрены общие сведения о роли транспортной системы в хозяйственной деятельности и ее общем влиянии на экономику государства. На втором этапе авторы провели оценку существующей информации о количестве поступающих отказов на основе эмпирических данных предприятий г. Актобе с последующей математической обработкой и валидацией с использованием соответствующих методов, описанных в методике. Заключительным этапом является сравнение результатов, полученных в

ходе исследования, с данными других научных работ. В частности, авторы сравнили отдельные методики других ученых по созданию годовой программы для транспортного предприятия.

3. Результаты

Кратко рассмотрим роль транспортной отрасли в функционировании мировой экономики. Транспортная отрасль занимает определенное место в международной экономической системе. Так, например, доля транспорта в мировом валовом внутреннем продукте (ВВП) составляет от 6% до 15%, в Казахстане - 7-8%, в России - 8,5% [10]-[12]. Ежегодно в мире всеми видами транспорта пользуются более 100 млрд. тонн грузов и более 1 трлн. пассажиров. В настоящее время в мире наблюдается тенденция к интенсивному росту уровня автомобилизации. По данным официальных источников, наблюдается ежегодный интенсивный рост общего количества транспортных средств и уровня автомобилизации. Так, например, в источнике [13] указано, что в 2021 году в мире будет эксплуатироваться 947 млн. личных автомобилей и 335 млн. коммерческих автомобилей, не считая тяжелых внедорожников и строительной техники. В результате аналитики пришли к выводу, что на тот момент в мире насчитывалось 1,2 млрд. автомобилей. Из общего числа зарегистрированных транспортных средств 95% составляют легковые автомобили. Отметим, что такая конфигурация структуры автопарка характерна для Республики Казахстан, где этот показатель соответствует 83,2% [14].

По данным Европейской экономической комиссии ООН [15], уровень автомобилизации в промышленно развитых странах составляет от 600 до 1000 единиц на 1000 жителей в 2021 году. Для отдельных стран этот показатель выглядит следующим образом: Сан-Марино - 1263; Монако - 899; Лихтенштейн - 750; Исландия - 745; Люксембург - 739; Италия - 679; Канада - 607; Кипр - 532; Финляндия - 612; Казахстан - 219; Украина - 173 [16].

Важно также учитывать аспект развития в данной области эксплуатации в других странах. В таблице. 1 приведен обобщенный опыт и некоторые характеристики производства и обслуживания автомобилей в разных странах.

Таблица 1. Опыт производства и технической эксплуатации автомобилей в различных странах

Колонка 1	Колонка 2
Германия	Германия, славящаяся точным машиностроением, имеет богатую историю производства высококачественных автомобилей и является родиной известных автомобильных брендов. В технических операциях особое внимание уделяется инновациям, производительности и безопасности.
Япония.	Япония славится эффективными производственными процессами, позволяющими выпускать надежные и технологически совершенные автомобили. Японские автопроизводители уделяют первостепенное внимание качеству, топливной экономичности и технологическим инновациям.
США.	В Соединенных Штатах давно существует автомобильная промышленность, ориентированная на производство различных типов автомобилей, таких как грузовики и внедорожники. В технических операциях особое внимание уделяется инновациям, масштабам и адаптации к предпочтениям потребителей.
Южная Корея.	Автомобильная промышленность Южной Кореи быстро развивается и известна производством экономичных и компактных автомобилей. Технические операции сосредоточены на автоматизации, эффективности и производстве автомобилей, сочетающих доступность и качество.

Китай.	Автомобильная промышленность Китая значительно выросла и выпускает широкий спектр автомобилей. В технических операциях особое внимание уделяется масштабам, эффективности и развитию технологий электромобилей (EV).
Италия	Италия имеет репутацию производителя роскошных и спортивных автомобилей. Приоритетными направлениями технической деятельности являются мастерство, дизайн и высокопроизводительные разработки.
Швеция.	Швеция известна как производитель безопасных и инновационных автомобилей. В технических операциях особое внимание уделяется безопасности, экологической устойчивости и передовым разработкам.
Индия.	В Индии наблюдается рост автомобильной промышленности, при этом основное внимание уделяется малолитражным автомобилям и их доступности. Приоритетными направлениями технической деятельности являются экономическая эффективность, рациональное использование ресурсов и адаптация к различным требованиям рынка.

Уровень автомобилизации является не только показателем, определяющим степень промышленного развития стран, но и выдвигает обширный комплекс организационных и технических мероприятий, связанных с эксплуатацией парка транспортных средств в производственных условиях, а также соответствующей материально-технической базы. Специфика функционирования и эксплуатации современного парка автомобилей, направленная на поддержание существующего парка в работоспособном состоянии и обеспечение надежности и эксплуатационных характеристик автомобилей нормативным требованиям, достаточно изучена, систематизирована и представлена в соответствующей специальной литературе [17]-[20].

На основании проведенного исследования авторами были получены статистические данные предприятий г. Актобе по отказам основных групп, узлов и агрегатов в целом, сумма которых рассматривалась авторами как программа предприятия. Общее количество поступающих отказов в результате обработки данных сгруппировано и распределено с учетом имеющихся производственных единиц и участков, а также технологичности операций следующим образом: мойка и очистка - 3890; заправка - 2385; диагностика - 1567; ремонт, ТО - 7786; кузовные работы - 2637. На основании полученных данных экспериментальное и теоретическое распределения отказов в зависимости от времени представлены в виде графиков на рис. 1.

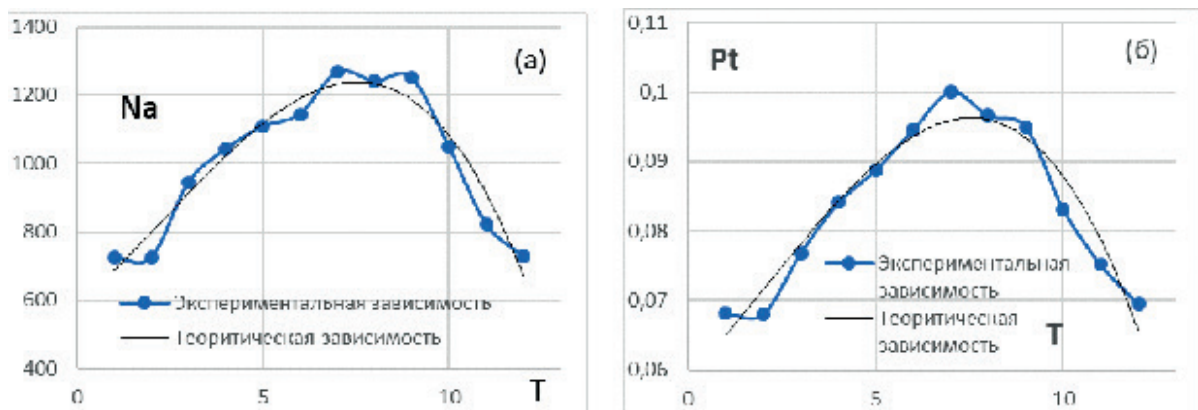


Рисунок 1. а) График распределения отказов; принятые обозначения: Na - число отказов; T - время; б) Распределение вероятностей отказов; принятые обозначения: Pt - вероятность возникновения отказа в момент времени t; T - время

Из рис. 1а видно, в частности, что теоретическая и экспериментальная зависимости числа отказов от времени имеют очень близкие конфигурации. Поэтому можно получить уравнение регрессии для зависимости отказов от времени, которое аппроксимируется полиномом третьей степени из следующего уравнения (1).

$$Y = 1.4253x^3 + 10.05x^2 + 91.604x + 586.78 \quad (1)$$

$$Y = -7 \cdot 10^{-5} - 5x^3 + 0.0005x^2 + 0.0057x + 0.0589 \quad (2)$$

График на рис. 1б показывает вероятностную зависимость появления отказа P_t от времени T , которая аппроксимируется полиномом из следующего уравнения (2).

Полученная модель адекватно описывает случайный процесс распределения вероятности отказа узлов и агрегатов автомобиля с коэффициентом корреляции $R=0,9046$ и стандартной ошибкой, равной $0,005$, что свидетельствует о высокой степени сходимости результатов экспериментальных и теоретических данных. Анализ данной модели показывает неравномерное распределение вероятностей отказов по календарному периоду, что необходимо учитывать при формировании годовой программы предприятия для обеспечения равномерности загрузки производственных участков. Эти мероприятия зависят в первую очередь от управления качеством и маркетинговой деятельности. Модель, представленная в уравнении (2), позволяет прогнозировать процесс изменения загрузки предприятия в зависимости от выбранного интервала измерения. Зависимости, представленные уравнениями (1) и (2), демонстрируют результаты суммирования количества отказов N_a , а также показывают вероятность возникновения отказа P_t для календарных месяцев года. В целом они свидетельствуют о реализации случайного процесса без учета вероятностных характеристик отказов, характерных для рассматриваемых структурных составляющих процесса, что допустимо для технологических групп. Последнее является предметом отдельного изучения и исследования.

Рассмотренные процессы отказов представляют собой простейшие потоки отказов, удовлетворяющие требованиям стационарности, ординарности и отсутствия последствий. Согласно М.Дж. Эвансу и Дж.С. Розенталю [8], а также К. Стапору [9], условие протекания выполняется и тогда, когда вероятность наступления одного события (отказа) в бесконечно малом интервале времени пропорциональна длине этого интервала до бесконечно малых высших порядков. В этом случае бесконечно малым интервалом времени является наработка за одни сутки, интервал, равный календарному году. Функции вероятности отказов основных узлов и агрегатов перечисленных систем описываются законом Пуассона [7] в соответствии с уравнением (3).

$$P_k(t) = \frac{(\omega t)^k}{k!} e^{-\omega t} \quad (3)$$

где: $k=0,1,2,\dots$ - число отказов, происходящих за время t ; ω - параметр интенсивности отказов.

Процедура преобразования полученных вероятностей интенсивности отказов в производственные показатели заключается в следующем. При этих значениях в производственную зону поступает интенсивность отказов, определяемая выражением: $a=\omega \cdot t$. Если принять время $t=1$, то получим $a=\omega$. Для рассматриваемого случая в результате приведения времени к $t=1$ час получаем параметр $a=4$, который характеризует среднее число отказов в единицу времени и практически обозначает требование по неисправностям и отказам узлов и агрегатов. Поток требований, поступающих на предприятия, следует рассматривать как программу предприятия. В этом случае уравнение (3) можно представить в виде уравнения (4).

$$P_{ka} = \frac{a^k}{k!} \cdot e^{-a} \quad (4)$$

В уравнении (4), например, параметр $a=4$ означает комбинацию из четырех отказов (неисправностей) или поток простых требований, подлежащих устранению. По уравнению (4) можно рассчитать вероятность появления определенного числа P_k для известного значения a . Например, для рассматриваемого случая, когда $a=4$, вероятность отсутствия требования $P_{k=0}=0,02$ или 2%, вероятность появления одного требования $P_{k=1}=0,07$ или 7%, вероятность появления двух требований $P_{k=2}=0,15$ или 15%, вероятность появления трех требований $P_{k=3}=0,19$ или 19% и т.д. Соответственно, на рис. 2 представлена графическая интерпретация пуассоновского закона возникновения определенного числа отказов, полученного для параметра $a=3, 4, 5, 6, 7$, происходящих за время t .

На рис. 2 представлен анализ вероятности загрузки участка и использования оборудования. Задание параметра $a=4$ дает следующий результат: 18% площадок будут загружены близко к среднему уровню, 45% площадок и оборудования будут загружены выше среднего уровня, а оставшиеся 63% площадок будут недогружены. При значениях $a \leq 4$, например $a=3$, график распределения вероятности отказа изменяется в сторону большей неравномерности загрузки площадок и оборудования. Как видно из графиков, при $a \geq 4$ зависимость выглядит более вытянутой и равномерной, что говорит о возможности более равномерной загрузки предприятия. Таким образом, представление случайных процессов разрушения объектов происходит в виде простых потоков, обладающих свойствами стационарности и ординарности, а также отсутствием последействия. Это описывается законом Пуассона. Такой подход позволяет проводить структурный анализ потоков отказов, оценивать характер загрузки участка и оборудования предприятия, прогнозировать и разрабатывать мероприятия по оптимизации производственных программ и структуры автосервисного предприятия.

Важнейшая роль транспорта в экономике весьма обширна и охватывает различные аспекты, способствующие общему развитию. Он является катализатором торговли, обеспечивая эффективное перемещение товаров и материалов между регионами. Одновременно он оптимизирует цепочки поставок, снижая издержки и позволяя предприятиям работать более конкурентоспособно. Помимо экономического воздействия, транспорт оказывает влияние на развитие городов и регионов, способствуя их связности [13]. Доступные транспортные сети привлекают инвестиции, стимулируют рост и формируют пространственный ландшафт городов и регионов. Кроме того, транспорт обеспечивает мобильность рабочей силы, позволяя людям получить доступ к более широкому спектру возможностей трудоустройства и способствуя экономическому динамизму.

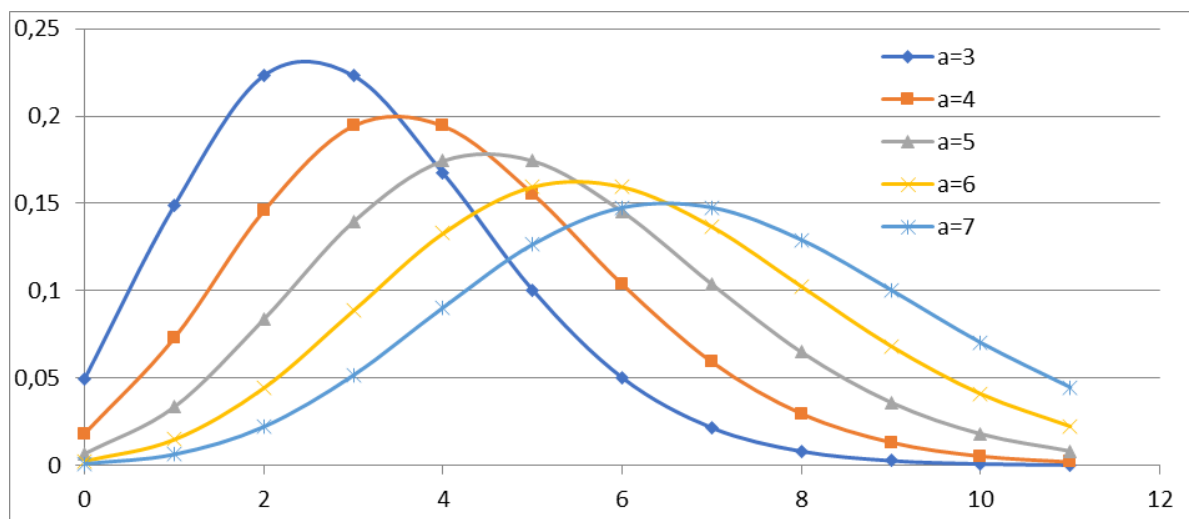


Рисунок 3. Графическая интерпретация распределения вероятностей отказов.

Значительные инвестиции в транспортную инфраструктуру, как государственную, так и частную, обеспечивают создание рабочих мест, стимулируют экономический рост и укрепляют общую стабильность. Кроме того, эти системы демонстрируют устойчивость в чрезвычайных ситуациях, способствуя оперативному реагированию и обеспечивая непрерывность экономики. Очень важно найти гармоничный баланс между экономическими выгодами от транспорта и его экологическими и социальными последствиями [3]. По мере развития транспортных сетей они оказывают существенное влияние на процессы урбанизации, динамику рынка труда и технологический прогресс, оказывая глубокое воздействие на траекторию экономического прогресса.

4. Обсуждение

Качество проектирования транспортных маршрутов имеет большое значение для развития страны: действительно, как отмечается в статье, транспортный сектор может занимать значительную часть ВВП - порядка 10%. Кроме того, как указывает Д.Ж.П. Родриг [21], транспорт играет важную роль не только в экономическом развитии страны, но и во внутренних процессах, включая социальную деятельность. Кроме того, развитие транспортной инфраструктуры зачастую является одним из основополагающих элементов регионального развития. Таким образом, взаимодействие между экономическим и транспортным развитием многообразно и противоречиво. Как отмечают Р.В. Маккуэйд и др. [3], хорошее транспортное сообщение, как внутреннее, так и внешнее, является частью портфеля региональных активов, привлекающих потенциальных инвесторов при принятии решений о местоположении. Конечно, степень влияния транспорта на деловую активность зависит в первую очередь от характеристик предприятия, его местоположения, внешней среды и характера бизнеса, но во всех случаях транспорт играет определенную роль. Говоря о функции транспорта для бизнеса, авторы М. Ощипал и др. [22] отмечают, что логистика особенно важна в современных рыночных экономиках, где конкурентные рынки побуждают автотранспортные предприятия переходить к гибким методам работы и совместному устойчивому управлению как на макро-, так и на микроуровне.

Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта» [23], изданное Министерством автомобильного транспорта РСФСР, является важным документом, определяющим техническую политику в области технического обслуживания и ремонта автотранспортных средств как в Советском

Союзе, так и на постсоветском пространстве. Документ охватывает такие ключевые аспекты, как безопасность, стандартизация, планово-предупредительный ремонт, техническая экспертиза, использование запасных частей, учет, экологические аспекты и государственный контроль. Документ обеспечивает безопасность и надежность автомобилей с помощью подробных инструкций и стандартизированных процедур, а также способствует проведению профилактических работ для продления срока службы автомобилей и минимизации поломок. Правила требуют наличия квалифицированных специалистов по техническому обслуживанию, подчеркивают важность качественных запчастей и ответственного отношения к окружающей среде. При участии государства эти правила обеспечивают единообразие и эффективность обслуживания дорожно-транспортной инфраструктуры страны.

Развитие автотранспортных объектов включает в себя несколько регламентированных пунктов и этапов проектирования, таких как выдача разрешений, технико-экономическое обоснование и непосредственно проектирование. В свою очередь, последний раздел содержит пункты, подлежащие обоснованию и детальной проработке: технологическая, строительная, технико-экономическая, организационная, строительная, природоохранная, проектно-сметная документация, пояснительная записка, генеральный план и паспорт проекта [24]-[26]. Основанием для заполнения этих разделов является обоснование производственной программы. Особым аргументом в пользу обоснования годовой производственной программы автосервисов является результат маркетинговых исследований спроса на УСС в данном регионе или городе в данный момент времени в случае, когда существующие типовые проекты не могут быть реализованы. Соответственно, это определяет программу, структуру, размеры и организацию производственного процесса в отдельном УСС. В настоящее время основные автосервисные предприятия автотранспортного комплекса страны можно условно разделить на несколько типов. Среди них комплексные предприятия промышленно-производственных объединений и предприятия различных форм собственности. Можно перечислить специальные и специализированные предприятия крупных частных организационных форм, дилерские центры крупных автопредприятий, как правило, расположенные в региональных центрах и городах и имеющие развитую материально-техническую базу для гарантийного или контрактного обслуживания фирменных автомобилей, а также сеть средних и мелких ЦСС по техническому обслуживанию и ремонту автомобилей, в основном личных.

В условиях рыночной экономики организация хозяйственной деятельности транспортных предприятий зависит в первую очередь от наличия стабильной и сбалансированной производственной программы. Последняя в конечном итоге определяет объем производства в финансовом и номинальном выражении, уровень материально-технической базы и структуру производственной базы. Производственная программа первых транспортных групп предприятий может быть организована на основе договоров с производственными предприятиями различных форм деятельности и хозяйствующими субъектами на управление транспортными процессами. Для этих групп предприятий производственный процесс может быть организован достаточно стабильно, поскольку имеется соответствующая материальная и нормативная база, обеспечивающая работоспособность подвижного состава. Однако в современных условиях для предприятий и хозяйствующих субъектов понимание сущности производственной программы несколько изменилось. По определению Ф. Кассиа и М. Феррацци [27], производственная программа — это результат взаимодействия финансовых, маркетинговых, технических и производственных служб, определяющий объем, ассортимент и сроки выпуска и реализации продукции. Большинство автосервисных компаний, в том числе и в частном секторе, работают по выжидательней системе, что характеризует их процессы как случайные. [7].

В этой работе авторы предложили определять режим работы компании по количеству средних заказов в день: это позволит определить наиболее вероятное количество отказов

и вероятность их возникновения, а значит, и определить вероятную загрузку компании. Однако А.Н. Семернин и др. [4] предложили другой метод формирования режима работы транспортных компаний. Эти авторы предложили создавать программу путем расчета отдельных показателей работы компании, таких как количество дней простоя автомобиля, количество ремонтов автомобиля, годовой пробег автомобилей и т.д. Хотя эта методика принципиально отличается от методики, представленной в приведенной выше работе, она не противоречит ей, так как основана на разных показателях, используемых для расчетов. Таким образом, эффективность деятельности транспортной компании может быть повышена за счет использования данных как о суточной загрузке и интенсивности отказов, так и об износе и ремонте транспортных средств. Другие ученые, а именно О.С. Тамер и др. [5], рассматривали аналогичные параметры для построения годового плана. Основными показателями в их работе, используемыми для формирования программы, являются среднее количество автомобилей, коэффициент выпуска автомобилей на линию, номинальная и фактическая грузоподъемность, среднесуточный пробег и другие. В их работе расчет показателей для составления плана по некоторым автомобилям производится с использованием переменных эмпирических данных.

Другой работой, в которой ученые предлагают свои методики совершенствования методов работы автотранспортных предприятий и формирования их годовой программы, является исследование О.Н. Ярковой и А.В. Труфанова [6], где исследователи также описывают процесс работы автомобиля как имеющий определенное число случайных исходов. Аналогичным методом используется закон Пуассона [28]. Здесь исследователи предлагают рассчитывать надежность автомобиля, степень износа в зависимости от пробега, объем грузоперевозок и другие показатели, чтобы определить, какие автомобили наиболее эффективны для ведения такого бизнеса. Все эти показатели влияют на конечную рентабельность предприятия, и наиболее выгодным для компании является использование автомобилей с нулевым пробегом. Однако, зная примерное состояние автомобилей и предполагаемое время их эксплуатации с учетом будущего пробега и интенсивности движения, можно организовать график капитальных ремонтов, чтобы сделать период эксплуатации более длительным и эффективным. Следует отметить, что некоторые показатели предприятия могут отличаться в зависимости от типа или марки автомобиля. Таким образом, несмотря на то, что в работе исследователей использовались методики, схожие с теми, которые были применены в статье авторов, в настоящей работе для повышения эффективности транспортного предприятия используются другие методы за счет совершенно иных ключевых показателей, применяемых для расчета. Это, вероятно, даст определенный синергетический эффект, т.е. еще больше улучшит режим работы транспортной компании. В заключение следует отметить, что в проанализированных работах не приведены методики формирования годовой программы транспортной компании, которые были бы слишком похожи на те, что используются в данной работе, что делает ее уникальной.

5. Выводы

В данном исследовании рассматриваются сложности рабочей программы и портфеля заказов станций технического обслуживания автомобилей в современных условиях с акцентом на поддержание стабильности. Данное исследование дает глубокую оценку вклада транспортной отрасли в национальное развитие и сложной взаимосвязи между экономическим ростом и транспортными компаниями. В нем подчеркивается многогранность этой динамики.

Производственная программа автосервисных компаний формируется на основе сложного взаимодействия маркетинговых, финансовых, операционных, технических и производственных аспектов. Этот процесс хорошо объясняется статистическими данными. В статье на примерах показано, что устранение неисправностей отдельных узлов и

агрегатов необходимо для ликвидации простых отказов на конкретном производственном участке. Авторы описали процедуру пересчета полученных вероятностей интенсивности отказов в производственные показатели. Получены математические модели в виде полиномов третьей степени, которые точно описывают динамику числа отказов и их вероятностей по временным интервалам с коэффициентами корреляции $R=0,9703$ и $R=0,9046$ и стандартными ошибками равными 55,56 и 0,005. По мнению авторов, поток отказов, состоящий из комбинации четырех отказов, не гарантирует равномерной загрузки рассматриваемого предприятия. Авторы предлагают для оптимизации производственной программы и равномерности загрузки автосервисов и площадок расширить виды услуг, предлагаемых клиентам.

В работе были рассмотрены и другие методы формирования годовой программы транспортного предприятия. Авторы указали, что у них есть свои принципы ее составления, основанные прежде всего на износе, эксплуатации и грузоподъемности автомобилей. Представленная в работе методика является достаточно уникальной. Новизна исследования заключается в глубокой оценке роли транспортных компаний в развитии страны. Авторы признают сложную взаимосвязь между транспортной отраслью и экономическим развитием, отмечая, что она многогранна и не сразу очевидна. Хотя эта сложность создает трудности для анализа, она также мотивирует необходимость поиска инновационных стратегий повышения эффективности отрасли.

Список литературы

1. Ejiogu E. O., Madonsela N. S., Adetunla A. The effect of transportation infrastructure on economic development //Proceedings of the 2nd African International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Harare, Zimbabwe. – 2000.
2. Cieplińska J. R. The role of transport organisers in the integration of passengers and goods flows within urban areas //Transportation Research Procedia. – 2019. – Т. 39. – С. 453-461.
3. McQuaid, R. W., Greig, M., Smyth, A., & Cooper, J. A. The importance of transport in business location decisions-scoping study. – 2003.
4. Semernin A. N., Ayazbai M. D., Borikhanuly A., Iskakov A. N., and Tucusbaev B. A. Methodology for determining annual working volumes on technological impacts in motor transport enterprises // Mechanics and Technologies. – 2018. – vol. 1. - P. 74–80.
5. Тамер О. С. и др. Определение производственной программы и плана эксплуатации грузовых автомобилей ООО «Производственно-коммерческая корпорация «Северная объединенная компания» //Вестник Волжского университета им. ВН Татищева. – 2018. – Т. 2. – №. 3. – С. 210-216.
6. Яркова О. Н., Труфанова А. В. Математическое моделирование характеристик эффективности производственной программы автотранспортного предприятия // Актуальные проблемы социально-экономического развития общества – Оренбург, 2021 том 1, – с. 114-120.
7. Kiryushin I. N., Retyunskikh V. N. The study of automotive vehicles technical operation indicators //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – Т. 489. – №. 1. – С. 012017.
8. Tabak J. Probability and statistics: The science of uncertainty. – Infobase Publishing, 2014.
9. Stapor K. Introduction to Probabilistic and Statistical Methods with Examples in R. – Springer Nature, 2020. – Т. 176.
10. Транспортный комплекс в современной мировой экономике [Электронный ресурс] – 2016. – URL: <https://finuni.ru/transportnyy-kompleks-v-sovremennoy-mirovoy-ekonomike/> (дата обращения: 05.11.2023).
11. Galkin A., Sirina N., Zubkov V. Integrated transport service model as a mechanism for sustainable economic development //Transportation Research Procedia. – 2022. – Т. 63. – С. 2661-2669.
12. Up to 3.5% of GDP growth can be provided by transport logistics. [Электронный ресурс] – 2022. – URL: <https://dknews.kz/en/articles-in-english/225728-up-to-3-5-of-gdp-growth-can-be-provided-by-transport/> (дата обращения: 05.11.2023).

13. D. Bonnici, "How many cars are there in the world?" which car?, [Электронный ресурс] - 2022. – URL: <https://www.whichcar.com.au/news/how-many-cars-are-there-in-the-world/> (дата обращения: 05.11.2023).
14. По итогам 2020 года средний возраст автопарка вырос до 20,7 лет. [Электронный ресурс] - 2021. – URL: <https://dknews.kz/ru/dk-life/163480-po-itogam-2020-goda-sredniy-vozrast-avtoparka-vyros/> (дата обращения: 06.11.2023).
15. Sustainable Transport Division, "2021 Transport Statistics Infocards," Geneva-Switzerland, 2022.
16. Nation Master, "Motor vehicles per 1000 people: Countries Compared," www.nationmaster.com, 2022.
17. Hong J., Kim B., Oh S. The relationship benefits of auto maintenance and repair service: A case study of Korea //Behavioral Sciences. – 2020. – Т. 10. – №. 7. – С. 115.
18. A. Semykina, N. Zagorodnii, I. Novikov, and A. Novikov, Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North //Transportation Research Procedia. – 2021. – Т. 57. – С. 611-616.
19. В. М. Виноградов, И.В. Бухтеева, В. Н. Редин. Организация производства технического обслуживания и текущего ремонта автомобилей : учеб. пособие для студ. учреждений сред. проф. образования. – 3-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2013. – 272 с.
20. В.М.Власов, С.В.Жанказиев, С.М.Круглов. Техническое обслуживание и ремонт автомобилей : учебник для студ. учреждений сред. проф. образования. – 13-е изд., стер. – М.: Издательский центр «Академия», 2017.
21. J.-P. Rodrigue, The geography of transport systems. Routledge, 2020.
22. Oszczyńska M., Ziółkowski J., Małachowski J. Modelling the operation process of light utility vehicles in transport systems using Monte Carlo simulation and semi-markov approach //Energies. – 2023. – Т. 16. – №. 5. – С. 2210.
23. Положение о техническом обслуживании и ремонте подвижного состава автомобильного транспорта: утв. Министерством автомобильного транспорта РСФСР 20 сентября 1984 г. Утратило силу на основании приказа Минтранса России от 31 августа 2020 г. № 344. – М., 1984.
24. С. К. Gomathy, P. Chandrasekhar, K. Mallikarjun, and V. Geetha, "The vehicle service management system," International Journal of Early Childhood Special Education, vol. 14, no. 5, pp. 671–683, 2022.
25. Л.С. Трофимова, "Методика текущего планирования работы автотранспортного предприятия при перевозке грузов в городе," Вестник СибАДИ, том 17, №. 2, стр. 234–247, 2020, doi: 10.26518/2071-7296-2020-17-2-234-247.
26. I. Petrov, N. Malysheva, I. Lukmanova, and E. Panfilova, "Transport enterprise architecture and features of its personnel management," Transportation Research Procedia, vol. 63, pp. 1462–1472, 2022.
27. Cassia F., Ferrazzi M. The economics of cars. – Newcastle upon Tyne : Agenda publishing, 2018. – 240 с.
28. Y. Hu and C. Zhu, "Credit evaluation model of road transportation enterprises based on the combination weighting method," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2021, pp. 1–10, 2021.

Көлік мекемесінің жылдық бағдарламасын негіздеу

Н.М. Мырзабеков¹, А.А. Каражанов¹

¹Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

Аннотация. Экономикалық және еңбек шығындарын оңтайландыру мәселелері көлік компанияларының өндірістік қызметінде маңызды орын алады. Олар әлеуметтік-экономикалық жағдайға, өндірістік сипаттағы объективті себептерге, тиісті материалдық-техникалық базаның болуына, сондай-ақ кәсіпорын менеджментінің тиімді пайдаланылуы мен құзыреттілігіне байланысты. Өндірістік қызметтің тиімділігін арттыру бойынша көлік кәсіпорнының бағдарламасын құру өзекті болып табылады. Сондықтан осы зерттеу жұмысы қазіргі жағдайда автомобильдерге техникалық қызмет көрсету станцияларының жұмыс бағдарламасының (Тапсырыс портфелінің) сипаттамаларын көрсетеді және олардың тұрақтылығын қамтамасыз етуге баса назар аударады. Негізгі құралдар ретінде математикалық модельдеу және математикалық-статистикалық талдау әдістері қолданылды, дегенмен талдау, синтез, салыстыру және басқа әдістер де маңызды болды. Авторлар автосервистің өндірістік бағдарламасын кәсіпорынға кездейсоқ түскен істен шығулар

мен ақаулардың жиынтығы ретінде ұсынады. Эксперименттік зерттеулердің нәтижелері ықтималдықтар теориясы мен математикалық статистика негізінде талданды, оның барысында жылдық бағдарламаның математикалық модельдері және оны белгілі бір уақыт аралығында таралу ықтималдығы алынды. Авторлар Автосервис конструкцияларының біркелкі жүктелуін қамтамасыз ету есебінен өндірістік бағдарламаны оңтайландыру бойынша іс-шараларды ұсынды. Көптеген теориялық мәселелер зерттеу дәлірек болжамдар жасау үшін өндіріс орындарын жобалау кезеңінде жүргізілуі мүмкін. Автокөлік қызметтерін жобалауға жарамды белгілі бір нәтижелерге негізделген теориялық әдістер бар. Олардың бірі – телімге кіретін автомобильдер санын топтастыру негізінде кәсіпорынның жылдық бағдарламасын есептеу. Бұл мақала автосервистермен байланысты бағдарламаларды қалыптастыруға жаңа көзқараспен қарауға мүмкіндік береді.

Ключевые слова: автокөлік; көлік құралдары; автокөлік қызметі; Пуассон заңы; кездейсоқ процестер; регрессия теңдеулері.

Justification of the Annual Program of the Transport Company

N.Myrzabekov¹, A.Karazhanov¹,

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana. Kazakhstan

Аннотация. The issues of optimising economic and labour costs take a significant place in the production activities of transport companies. They depend on the socio-economic situation, objective reasons of production nature, availability of appropriate material and technical bases, as well as effective use and competence of enterprise management. It seems relevant to establish a transport enterprise programme to increase operational efficiency. Therefore, research outlines the characteristics of the work programme (order portfolios) of car service stations in the current environment and focuses on ensuring their stability. Mathematical modelling and methods of mathematical and statistical analysis served as principal tools, although analysis, synthesis, comparison and other methodologies were also significant. Authors represent the car service stations production programme as the sum of failures and faults arriving at the enterprise in random order. The results of the experimental studies underwent analysis based on probability theory and mathematical statistics, where mathematical models of the annual programme and the probabilities of its distribution in a given time interval were obtained. The authors recommend measures to optimise the production programme by ensuring uniform loading of car service station structures. It can be studied numerous theoretical issues during the design phase of production sites and make accurate predictions. There are theoretical methodologies based on certain results, which are suitable for the design of road transport services. One of them is a calculation of the enterprise's annual program based on a grouping of the number of vehicles coming into the site. The work brings new regard to the shape of the programmes related to car service providers.

Ключевые слова: motorisation, vehicles, car service station, Poisson's law, random processes, regression equations.

References

1. Ejiogu E. O., Madonsela N. S., Adetunla A. The effect of transportation infrastructure on economic development //Proceedings of the 2nd African International Conference on Industrial Engineering and Operations Management Harare, Zimbabwe. – 2000.
2. Cieplińska J. R. The role of transport organisers in the integration of passengers and goods flows within urban areas //Transportation Research Procedia. – 2019. – T. 39. – С. 453-461.
3. McQuaid, R. W., Greig, M., Smyth, A., & Cooper, J. A. The importance of transport in business location decisions-scoping study. – 2003.
4. Semernin A. N., Ayazbai M. D., Borikhanuly A., Iskakov A. N., and Tucusbaev B. A. Methodology for determining annual working volumes on technological impacts in motor transport enterprises // Mechanics and Technologies. – 2018. – vol. 1. - P. 74–80.
5. Tamer O.S.. et al. Opredeleniye proizvodstvennoy programmy i plana ekspluatatsii gruzovykh avtomobiley ООО «Proizvodstvenno-kommercheskaya korporatsiya «Severnaya ob"yedinennaya

kompaniya [Determination of the production program and operating plan for trucks of LLC Industrial and Commercial Corporation Northern United Company], *Vestnik Volzhskogo universiteta im. VN Tatishcheva* [Bulletin of Volga University named after. VN Tatishcheva], 2(3), 210-216(2018).

6. Yarkova O. N., Trufanova A. V. Matematicheskoye modelirovaniye kharakteristik effektivnosti proizvodstvennoy programmy avtotransportnogo predpriyatiya. [Mathematical modeling of the efficiency characteristics of the production program of a motor transport enterprise], *Aktual'nyye problemy sotsial'no-ekonomicheskogo razvitiya obshchestva sbornik trudov po materialam III Natsional'noy nauchno-prakticheskoy konferentsii* [Current problems of socio-economic development of society collection of works based on the materials of the III National Scientific and Practical Conference]. Kerch: FGBOU VO «Kerchenskiy gosudarstvennyy morskoy tekhnologicheskiiy universitet» [Kerch: Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Kerch State Marine Technological University"], 2021. P. 114-120.

7. Kiryushin I. N., Retyunskikh V. N. The study of automotive vehicles technical operation indicators //IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – IOP Publishing, 2019. – T. 489. – №. 1. – C. 012017.

8. Tabak J. Probability and statistics: The science of uncertainty. – Infobase Publishing, 2014.

9. Stapor K. Introduction to Probabilistic and Statistical Methods with Examples in R. – Springer Nature, 2020. – T. 176.

10. Transportnyy kompleks v sovremennoy mirovoy ekonomike [Transport complex in the modern world economy], [Electronic resource]. Available at: <https://finuni.ru/transportnyy-kompleks-v-sovremennoy-mirovoy-ekonomike/> (Accessed: 04.11.2023).

11. Galkin A., Sirina N., Zubkov V. Integrated transport service model as a mechanism for sustainable economic development //Transportation Research Procedia. – 2022. – T. 63. – C. 2661-2669.

12. Up to 3.5% of GDP growth can be provided by transport logistics. [Electronic resource] – 2022. – URL: <https://dknews.kz/en/articles-in-english/225728-up-to-3-5-of-gdp-growth-can-be-provided-by-transport/> (Accessed: 05.11.2023).

13. D. Bonnici, "How many cars are there in the world?" which car?, [Electronic resource] - 2022. – URL: <https://www.whichcar.com.au/news/how-many-cars-are-there-in-the-world/> (Accessed: 05.11.2023).

14. Po itogam 2020 goda sredniy vozrast avtoparka vyros do 20,7 let. [At the end of 2020, the average age of the vehicle fleet increased to 20.7 years.], [Electronic resource]. Available at: <https://dknews.kz/ru/dk-life/163480-po-itogam-2020-goda-sredniy-vozrast-avtoparka-vyros> (Accessed: 04.11.2023).

15. Sustainable Transport Division, "2021 Transport Statistics Infocards," Geneva-Switzerland, 2022.

16. Nation Master, "Motor vehicles per 1000 people: Countries Compared," www.nationmaster.com, 2022.

17. Hong J., Kim B., Oh S. The relationship benefits of auto maintenance and repair service: A case study of Korea //Behavioral Sciences. – 2020. – T. 10. – №. 7. – C. 115.

18. A. Semykina, N. Zagorodnii, I. Novikov, and A. Novikov, Main directions of improving the maintenance and repair of vehicle units in the Far North //Transportation Research Procedia. – 2021. – T. 57. – C. 611-616.

19. V. M. Vinogradov, I. V. Bukhteeva, V. N. Redin. Organizatsiya proizvodstva tekhnicheskogo obsluzhivaniya i tekushchego remonta avtomobiley: ucheb. posobie dlya stud. uchrezhdeniy sred. prof. obrazovaniya [Organisation of production of maintenance and current repair of cars: textbook for students of secondary vocational education institutions] (Academia, M, 2013, 272 p) [in Russian].

20. V. M. Vlasov, S. V. Zhankaziev, S. M. Kruglov. Tekhnicheskoye obsluzhivaniye i remont avtomobiley: uchebnyy dlya stud. uchrezhdeniy sred. prof. obrazovaniya. [Maintenance and repair of motor vehicles: textbook for students of secondary vocational education institutions] (Academy, M, 2017, 432 p) [in Russian].

21. J.-P. Rodrigue, The geography of transport systems. Routledge, 2020.

22. Oszcypała M., Ziółkowski J., Małachowski J. Modelling the operation process of light utility vehicles in transport systems using Monte Carlo simulation and semi-markov approach //Energies. – 2023. – T. 16. – №. 5. – C. 2210.

23. Polozheniye o tekhnicheskoy obsluzhivaniy i remonte podvizhnogo sostava avtomobil'nogo transporta. [Regulations on maintenance and repair of rolling stock of road transport]: Ministry of Road Transport of the RSFS, M., 1984.

24. C. K. Gomathy, P. Chandrasekhar, K. Mallikarjun, and V. Geetha, "The vehicle service management system," *International Journal of Early Childhood Special Education*, vol. 14, no. 5, pp. 671–683, 2022.

25. L.S. Trofimova, Metodika tekushchego planirovaniya raboty avtotransportnogo predpriyatiya pri perezovozke грузов v gorode. [Methodology of current planning of work of a motor transport enterprise in the course of cargo transportation in the city], Vestnik SibADI [SibADI Bulletin], 17(2), 234-247(2020)

26. I. Petrov, N. Malysheva, I. Lukmanova, and E. Panfilova, "Transport enterprise architecture and features of its personnel management," Transportation Research Procedia, vol. 63, pp. 1462–1472, 2022.

27. Cassia F., Ferrazzi M. The economics of cars. – Newcastle upon Tyne: Agenda publishing, 2018. – 240 с.

28. Y. Hu and C. Zhu, "Credit evaluation model of road transportation enterprises based on the combination weighting method," Mathematical Problems in Engineering, vol. 2021, pp. 1–10, 2021.

Сведения об авторах:

Рус.:

Н.М. Мырзабеков – докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, 8 707 803 1191, nurlybekmyrzabekov@mail.ru

А.А. Каражанов – к.т.н, доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, 8 705 797 6682, akarazhanov@mail.ru

Каз.:

Н.М. Мырзабеков – докторант, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, 8 707 803 1191, nurlybekmyrzabekov@mail.ru

А.А. Каражанов – т.ғ.к, доцент, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, 8 705 797 6682, akarazhanov@mail.ru

Англ.:

N. Myrzabekov – doctoral student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 8 707 803 1191, nurlybekmyrzabekov@mail.ru

A.A. Karazhanov – Candidate of Technical Sciences, docent, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, 8 705 797 6682, akarazhanov@mail.ru

К.Т. Шеров^{1*}, Н.Ж. Карсакова², Б.С. Доненбаев³,
С.О. Тусупова⁴, К. Имашева⁵, А.Б. Есиркепова⁶

¹Казахский агротехнический исследовательский университет им. С. Сейфуллина,
Астана, Казахстан

^{2,3,5,6}Карагандинский технический университет им. А. Сагинова,
Караганда, Казахстан

⁴Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

Экспериментальное исследование влияния режимов резания на шероховатость поверхности при растачивании ступенчатого отверстия

Аннотация. В данной статье приводятся результаты исследования выполненные для обеспечения качества обработки ступенчатого отверстия крупногабаритной детали Станина НП8 насоса погружного. Разработана конструкция и изготовлен опытный образец специального комбинированного расточного инструмента. Также изготовлен образец – заготовка из СЧ15 для проведения экспериментальных исследований.

Экспериментальные исследования проведены в условиях лабораторной базы «Центр рабочих профессий «Машиностроение»» НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова» на токарно-винторезном станке 1К625.

В результате экспериментальных исследований влияния режимов резания на шероховатость обработанной поверхности при растачивании ступенчатого отверстия установлено, что с увеличением частоты вращения шпинделя и значения глубины резания качество обработанной поверхности улучшается. А увеличение подачи отрицательно влияет на шероховатость обработанной поверхности. Определены оптимальные режимы резания для обработки ступенчатого отверстия Ø295 мм и Ø325 мм детали Станина НП8 насоса погружного: $S=0,26$ мм/об; $n=1250$ об/мин; $t=1,0$ мм.

В результате планирования эксперимента и оценки полученных данных с помощью программы «ANETR-5» была получена зависимость шероховатости поверхности от режимов резания, которая позволит управлять параметрами качества до обработки и определить оптимальные режимы резания, обеспечивающие высокие параметры качества детали.

Ключевые слова: Крупногабаритные детали, ступенчатое отверстие, комбинированный расточной инструмент, одновременное растачивание, шероховатость, подача.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-265-274

1. Введение

Растачивание отверстий – считается не только одной из наиболее востребованных операций в металлообработке, но также и относится к категории достаточно трудоемких [1,2]. Исследования, проведенные в условиях отечественных машиностроительных заводов, в частности Карагандинского региона показали, что существует проблема обеспечения точности и качества при изготовлении крупногабаритных деталей [3,4,5]. В результате анализа технологических процессов механической обработки этих деталей было

выявлено, что самым сложным и трудоемким является обработка ступенчатых отверстий [3,4,5,6,7]. Для исследования и решения проблемы в качестве объекта была выбрана крупногабаритная деталь Станина НП8 насоса погружного и технология её изготовления, которая производится в условиях ТОО «Maker» (Мэйкер) – КЛМЗ (г. Караганда). Результаты исследования технологии изготовления и сущность проблемы обработки ступенчатого отверстия детали Станина НП8 насоса погружного приведена в работе [3].

2. Основная часть

Для обеспечения точности и качества механической обработки ступенчатого отверстия детали Станина НП8 насоса погружного было спроектирован и изготовлен опытный образец специального комбинированного расточного инструмента. На рисунке 1 показан специальный комбинированный расточной инструмент.

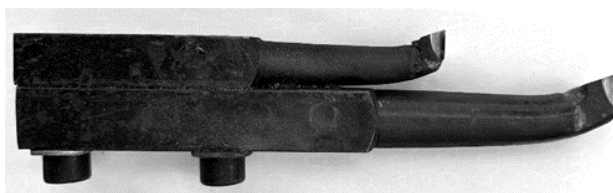


Рисунок 1 - Специальный комбинированный расточной инструмент

Для проведения экспериментальных исследований по обработке ступенчатых отверстий был изготовлен образец – заготовка приближенное по размерам и материалу, а также по расположению отверстий к основной детали Станина НП8 насоса погружного. Образец-заготовка был отлит в условиях ТОО «ТемирПромСтил» (г. Темиртау) из СЧ 15.

На рисунке 2 показана фотография образец – заготовки.



Рисунок 2 – Фотография образец – заготовки (а – отливка; б – вид сверху)

Экспериментальные исследования по обработке ступенчатых отверстий были проведены в условиях лабораторной базы «Центр рабочих профессий «Машиностроение»» НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова» на токарно-винторезном станке 1К625. На рисунке 3 показана фотография токарно-винторезного станка 1К625.



Рисунок 3 – Токарно-винторезный станок 1К625

Для измерения шероховатости обработанных отверстий использован электронный прибор – портативный измеритель (профилометр) шероховатости TR 100. На рисунке 4 показана фотография электронного прибора.



Рисунок 4 – Электронный прибор

Планирование многофакторного эксперимента. С целью получения зависимостей параметров показателей качества, то есть шероховатости (R_a) и твердости (НВ) внутреннего поверхностного слоя детали от режимов резания составлен план эксперимента [8,9,10].

На качественные показатели внутреннего поверхностного слоя влияет большое количество факторов технологического процесса. Согласно проведенным экспериментам и литературному обзору были приняты три основные факторы, характеризующие режимы резания:

- 1) X_1 – глубина резания, мм(т);
- 2) X_2 – продольная подача, мм/об (S);
- 4) X_3 – частота вращения шпинделя, об/мин (n).

Для получения более адекватных зависимостей интервалы варьирования факторов выбирались по паспортным данным станка 1К62 (S и n) таким образом, чтобы получались примерно равные шаги переменных (таблица 1). А также количество переменных должны быть нечетным и начинаться с пяти.

Для уменьшения времени и затрат на испытания был выбран метод рационального планирования экспериментов, который сокращает по сравнению с полным экспериментом число необходимых опытов в $n \cdot m - 2$ раз. Для нашего случая, при $n = 5$, $m = 3$ – число опытов при использовании рационального планирования сокращается в пять раз и становится равным 25.

Таблица 1 – Диапазон изменения факторов

Факторы \ Уровни	1	2	3	4	5
X_1 (t, мм)	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0
X (S, мм/об)	0,17	0,26	0,34	0,43	0,52
C (n, об/мин)	500	800	1000	1250	1600

План трехфакторного эксперимента с выходными параметрами на пяти уровнях приведен в таблице 2.

Таблица 2 – План трехфакторного эксперимента

Факторы \ Номера опытов	X1	X2	X3	Y1	Y2
1	0,2	0,17	1000	2,5	197
2	0,2	0,26	1600	1,66	166
3	0,2	0,34	1250	2,87	202
4	0,2	0,43	500	7,5	222
5	0,2	0,52	800	6,66	221
6	0,4	0,17	1250	1,875	191
7	0,4	0,26	500	4	208
8	0,4	0,34	1600	1,563	193
9	0,4	0,43	800	4,511	216
10	0,4	0,52	1000	4,167	213
11	0,6	0,17	1600	1,146	114
12	0,6	0,26	800	3,214	202
13	0,6	0,34	500	4,75	211
14	0,6	0,43	1000	3,5	207
15	0,6	0,52	1250	2,857	204
16	0,8	0,17	800	2,25	196
17	0,8	0,26	1250	1,563	190
18	0,8	0,34	1000	2,361	200
19	0,8	0,43	1600	1,607	195
20	0,8	0,52	500	7,5	219
21	1,0	0,17	500	2,5	197
22	1,0	0,26	1000	1,666	196
23	1,0	0,34	800	2,813	204
24	1,0	0,43	1250	1,812	199
25	1,0	0,52	1600	1,5	197

Здесь $Y_1(Ra)$ – шероховатость обработанной поверхности; $Y_2(HV)$ – твердость обработанной поверхности.

Оценка результатов многофакторного эксперимента осуществлялась по программе «ANETR-5» разработанный профессорами КарГТУ Ермаковым М.А. и Маховым А.А. [10].

Варируя во входном файле параметр «р», который может принимать целые значения от 1 до 4, можем получить различные типы обобщенной формулы с различными параметрами оценивающей адекватность математической модели.

В результате обработки получили следующую зависимость шероховатости поверхности Ra , мкм (Y_1) от режимов резания:

$$Y_1 = 2,6 \cdot \lg(X_1) + 1,35e2,34X_2 + 9,42e-1,16 \cdot 10^{-3} \cdot X_3 - 3,868;$$

- СКО = 29%, R=0,95.

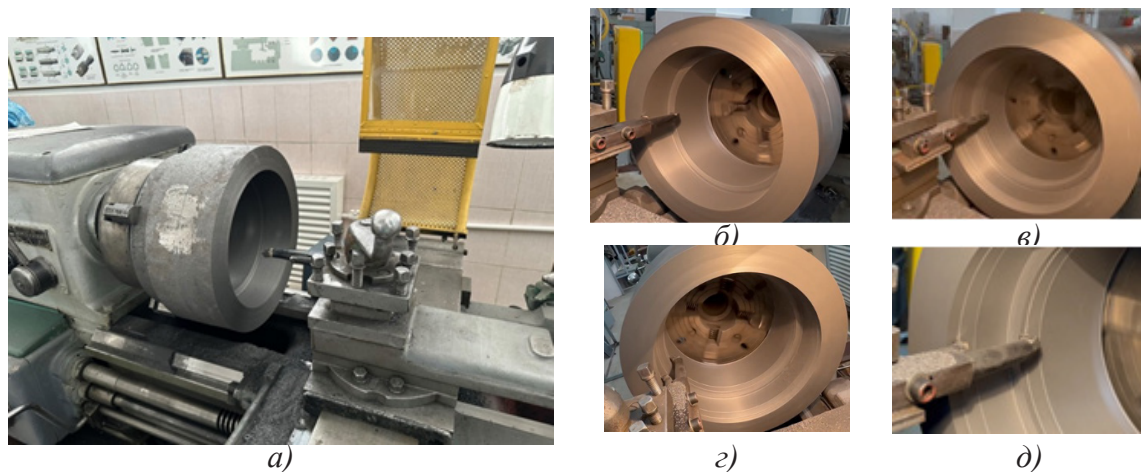
Полученная математическая модель, связывающая шероховатости обработанной поверхности (Ra , мкм) с режимами резания, позволяет управлять параметрами качества до обработки и определить оптимальные режимы резания, обеспечивающие высокие параметры качества детали.

Экспериментальное исследование. При проведении экспериментальных исследований по одновременной обработке ступенчатых отверстий $\varnothing 295$ мм и $\varnothing 325$ мм были использованы режимы резания, приведенные в таблице 3.

Таблица 3 – Режимы резания

Режимы резания	Значение режимов резания				
S , мм/об	0.17	0.26	0.34	0.43	0.52
n , об/мин	500	800	1000	1250	1600
t , мм	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0

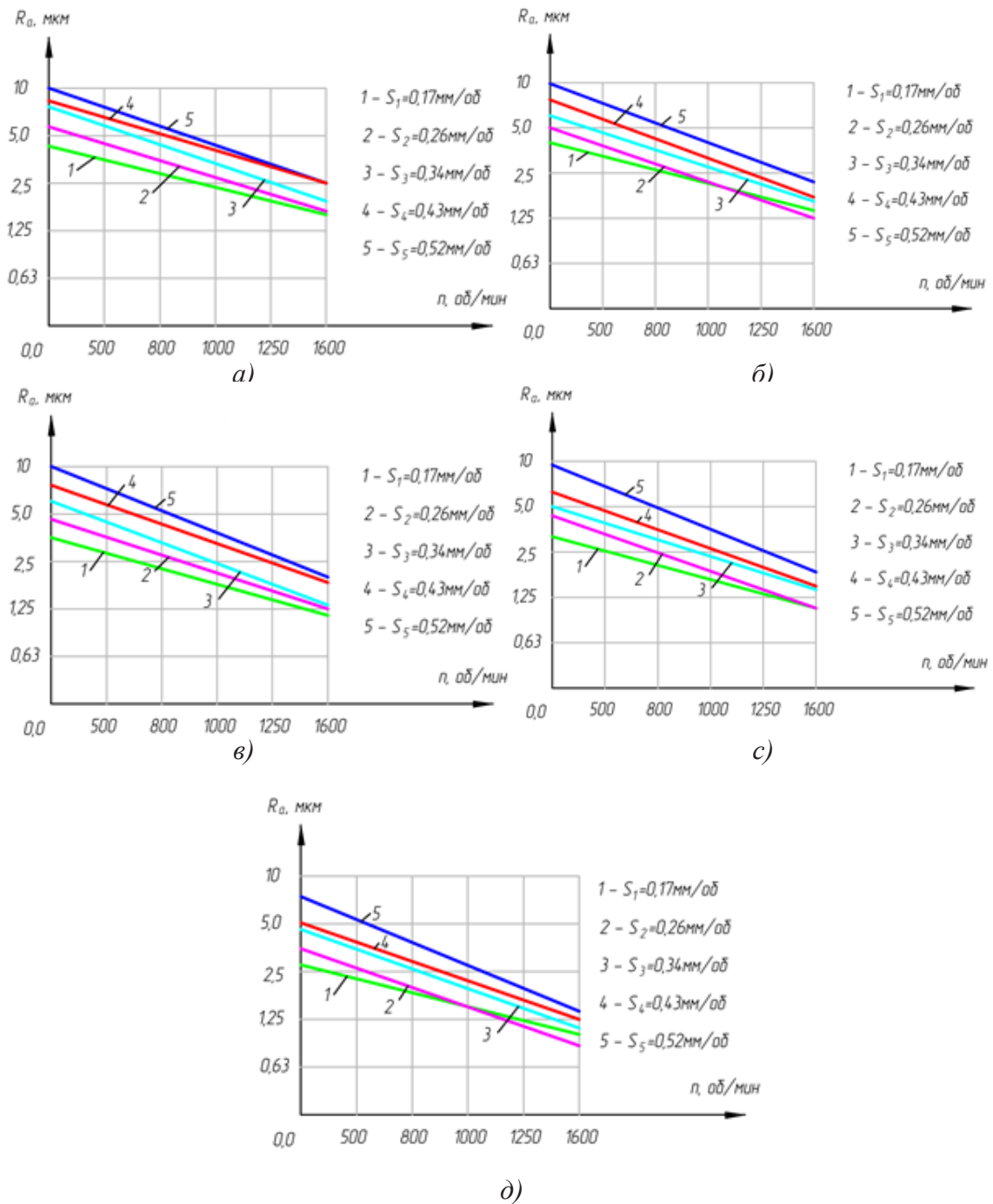
На рисунке 5 показан процесс экспериментального исследования по растачиванию ступенчатого отверстия на различных режимах резания.



a – процесс наладки; *б, в, г, д* – процесс одновременного растачивания ступенчатого отверстия на различных режимах

Рисунок 5 - Процесс экспериментального исследования по растачиванию ступенчатого отверстия на различных режимах резания

В результате обработки полученных данных были построены графики влияния режимов резания на шероховатость обработанной поверхности (Рисунок 6).



а - $t = 0,2 \text{ мм}$; б - $t = 0,4 \text{ мм}$; в - $t = 0,5 \text{ мм}$; с - $t = 0,8 \text{ мм}$; д - $t = 1,0 \text{ мм}$

Рисунок 6 - Графики влияния режимов резания на шероховатость обработанной поверхности

3. Обсуждение результатов

Анализ полученных результатов показал, что при выборе оптимальных режимов резания можно обеспечить высокие показатели качества обработки ступенчатого отверстия. При обработке на различных режимах резания была достигнута шероховатость обработанной поверхности в широких пределах $R_a = 10-0,95$ мкм (см. рис. 6). Согласно рабочему чертежу детали Станина НП8 насоса погружного шероховатость ступенчатого отверстия $\varnothing 295$ мм и $\varnothing 325$ мм, составляет $R_a = 1,25$ мкм [3]. Исходя из этого были определены оптимальные режимы резания: $S=0,26$ мм/об; $n=1250$ об/мин; $t=1,0$ мм.

Анализ результатов влияния режимов резания показали, что с увеличением частоты вращения шпинделя шероховатость обработанной поверхности улучшается (см. рис. 6), однако при этом усиливается риск появления вибрации. А увеличение подачи отрицательно влияет на шероховатость обработанной поверхности (см. рис. 6). Представляет научный интерес характер влияния значения глубины резания t , увеличение которой также положительно сказывается на шероховатость обработанной поверхности (см. рис. 6). Уточнение данного вопроса и исследование возможности появления вибрации требует необходимость проведения дополнительных исследований.

4. Выводы

1. Для одновременной обработки ступенчатого отверстия была разработана конструкция специального комбинированного расточного инструмента и изготовлен опытный образец в условиях лабораторной базы «Центр рабочих профессий «Машиностроение» «НАО «Карагандинский технический университет им. А. Сагинова».

2. В результате экспериментальных исследований влияния режимов резания на шероховатость обработанной поверхности при растачивании ступенчатого отверстия было установлено, что:

- увеличение частоты вращения шпинделя и значения глубины резания положительно влияют на шероховатость обработанной поверхности;
- увеличение подачи отрицательно влияет на шероховатость обработанной поверхности.

3. В результате планирования эксперимента и оценки полученных данных с помощью программы «ANETR-5» была получена зависимость шероховатости поверхности от режимов резания: $Y_1 = 2,6 \cdot \lg(X_1) + 1,35e2,34X_2 + 9,42e-1,16 \cdot 10^{-3} \cdot X_3 - 3,868$.

4. Определены оптимальные режимы резания для обработки ступенчатого отверстия $\varnothing 295$ мм и $\varnothing 325$ мм детали Станина НП8 насоса погружного: $S=0,26$ мм/об; $n=1250$ об/мин; $t=1,0$ мм.

Список литературы

1. Бурцев В.М. Технология машиностроения. В 2 т. Т.2. Производство машин: Учеб. для вузов под ред. Г.Н. Мельникова / В. М. Бурцев, А. С. Васильев, О. М. Деев – М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2001. – 640 с.
2. Kassenov A.Zh., Abishev K.K., Yanyushkin A.S., Iskakova D.A., Absadykov B.N. Research of the stress-strain state of holes with new broach designs. NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. Volume 2, Number 452 (2022), 89-103. DOI: <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X>.
3. Карсакова Н.Ж., Шеров К.Т., Насад Т.Г. Вопросы изготовления детали "станина" насоса погружного. Труды университета. – Караганда: Изд-во КарГУ, 2022.- №1(86)- С.16-21. DOI https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_1_16
4. Karsakova N., Sherov K., Donenbayev B., Abulkhairov D., Sagynganova I., Usserbayev M., Teliman I., Sherov A., Tussupbekova G. (2023) Calculation of the boring bar design for static rigidity and strength

with simultaneous boring of a stepped hole with further optimization. Journal of Applied Engineering Science Vol. 21, No. 1, 2023. P.300-312. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes0-40340>

5. Шеров К.Т., Сихимбаев М.Р., Габдысалык Р., Бузауова Т.М., Карсакова Н.Ж., Имашева К.И., Сейсенбаев Д.С. Исследование технологических возможностей контрольно-измерительных средств для контроля отверстий крупногабаритных деталей / Научное обозрение. – Москва: Изд-во ИД «Академия Естествознания», 2019. – № 2 -С. 45-49.

6. Donenbaev B.S. Sherov K.T., Sikhimbayev M.R. Absadykov B.N. Karsakova N.Zh. Using ansyswb for optimizing parameters of a tool for rotary friction boring / News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2021, Volume 3, Number 447 (2021), 20-27 <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.57>

7. Шеров К.Т., Доненбаев Б.С. Карсакова Н.Ж. Ірі габаритті және корпус тетіктерді даярлауда қойылатын талаптар / Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации» (Сагиновские чтения №10), 13-14 июня 2018 г. Часть 3. – Караганда: Изд-во КарГТУ, 2018. – С.102-104.

8. Реброва И.А. Планирование эксперимента: учеб. пос. – Омск: СибАДИ, 2010.-105 с.

9. Кадыров А.С., Кадырова И.А. Основы научных исследований. –Караганда: КарГТУ, 2015. – 279 с.

10. Ермеков М.А., Махов А.А. Статистико-детерминированный метод построения многомерных моделей с использованием ЭВМ: учеб.пособие. - Караганда, КПТИ, 1988.-70 с.

Сатылы тесікті кеңейтежону кезінде кесу режимдерінің беттің кедір бұдырлығына әсерін эксперименттік зерттеу

К.Т. Шеров^{1*}, Н.Ж. Карсакова², Б.С. Доненбаев³, С.О. Тусупова⁴, К. Имашева⁵,
А.Б. Есиркепова⁶

¹С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

^{2,3,5,6}КА. Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

⁴Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан

Аңдатпа. Бұл мақалада НП8 суасты сорғысының станина тетігінің үлкен өлшемді сатылы тесіктерін өңдеу сапасын қамтамасыз ету үшін жасалған зерттеу нәтижелері келтірілген. Арнайы құрамалы кеңейтежону құралының конструкциясы әзірленді және тәжірибелік үлгісі жасалды. Сондай – ақ, эксперименттік зерттеулер жүргізу үшін СЧ15-тен үлгі дайындама жасалды.

Эксперименттік зерттеулер «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университетінің» КеАҚ «Машина жасау» жұмысшы кәсіптер орталығы» зертханалық базасы жағдайында 1К625 токарлық-бұрандалы кескіш станогында жүргізілді.

Кесу режимдерінің өңделген беттің кедір-бұдырлығына әсерін эксперименттік зерттеу нәтижесінде сатылы тесіктерді кеңейтежону кезінде шпиндельдің айналу жиілігі мен өңделген беттің кесу тереңдігінің мәні жоғарылаған сайын өңделген беттің сапасы жақсаратыны анықталды. Ал беріліс мәнінің артуы өңделген беттің кедір-бұдырлығына теріс әсер етеді. НП8 суасты сорғысының станина тетігінің өлшемдері Ø295 мм және Ø325 мм сатылы тесіктерін өңдеу үшін оңтайлы кесу режимдері анықталды: S=0,26 мм/айн; n= 1250 айн/мин; t=1,0 мм.

Экспериментті жоспарлау және алынған деректерді «ANETR-5» бағдарламасы арқылы бағалау нәтижесінде беттің кедір-бұдырлығының кесу режимдеріне тәуелділігін сипаттаушы теңдеу алынды, бұл өңдеуге дейінгі сапа параметрлерін басқаруға және тетіктің жоғары сапа параметрлерін қамтамасыз ететін оңтайлы кесу режимдерін анықтауға мүмкіндік береді.

Кілт сөздер. Ірігабаритті тетіктер, сатылы тесік, құрамалы кеңейтежону құралы, бір уақытта кеңейтежону, кедір-бұдырлық, беріліс.

Experimental study of the cutting conditions effect on surface roughness when boring a stepped hole

K.T. Sherov^{1*}, N.Zh. Karsakova², B.S. Donenbaev³, S.O. Tussupova⁴, K. Imasheva⁵,
A.B. Yesirkepova⁶

¹Kazakh Agrotechnical Research University named after. S. Seifullina, Astana, Kazakhstan

^{2,3,5,6} Karaganda Technical University named after. A. Saginova, Karaganda, Kazakhstan

⁴Toraigyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

Abstract. The article presents the results of a study carried out to ensure the quality of boring stepped holes of a large part of the NP8 submersible pump bed. A design was developed and a prototype of a special combined boring tool was manufactured. A sample was also made, a blank of SCh15 for carrying out experimental studies.

Experimental studies were carried out in the laboratory base «Center of Working Professions Mechanical Engineering» of A. Saginov Karaganda Technical University NJSC on a screw-cutting lathe 1K625.

As a result of experimental studies of the cutting conditions effect on the roughness of the machined surface when boring stepped holes, it was established that with increasing the spindle speed and the value of the cutting depth, the quality of the machined surface improves. Increasing the feed negatively affects the machined surface roughness. The optimal cutting conditions for machining stepped holes Ø295 mm and Ø325 mm of the NP8 submersible pump bed were determined as follows: $S=0.26$ mm/rev; $n=1250$ rpm; $t=1.0$ mm.

As a result of planning the experiment and evaluating the obtained data using the ANETR-5 program, the dependence of surface roughness on cutting modes was obtained, which will make it possible to control the quality parameters before machining and to determine optimal cutting modes that ensure high quality parameters of the part.

Keywords: Large parts, stepped hole, combined boring tool, simultaneous boring, roughness, feed.

References

1. Burtsev V.M. Tekhnologiya mashinostroyeniya. V 2 t. T.2. Proizvodstvo mashin: Ucheb. dlya vuzov pod red. G.N. Mel'nikova / V. M. Burtsev, A. S. Vasil'yev, O. M. Deyev – M.: Izdatel'stvo MGTU im. N.E. Baumana, 2001. – 640 s.
2. Kassenov A.Zh., Abishev K.K., Yanyushkin A.S., Iskakova D.A., Absadykov B.N. Research of the stress-strain state of holes with new broach designs. NEWS of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. Volume 2, Number 452 (2022), 89-103. DOI: <https://doi.org/10.32014/2022.2518-170X>.
3. Karsakova N.ZH., Sherov K.T., Nasad T.G. Voprosy izgotovleniya detali "stanina" nasosa pogruzhnogo. Trudy universiteta. – Karaganda: Izd-vo KarTU, 2022.- №1(86)- S.16-21.
DOI https://doi.org/10.52209/1609-1825_2022_1_16
4. Karsakova N., Sherov K., Donenbayev B., Abulkhairov D., Sagynganova I., Usserbayev M., Teliman I., Sherov A., Tussupbekova G. (2023) Calculation of the boring bar design for static rigidity and strength with simultaneous boring of a stepped hole with further optimization. Journal of Applied Engineering Science Vol. 21, No. 1, 2023. P.300-312. DOI: <https://doi.org/10.5937/jaes0-40340>
5. Sherov K.T., Sikhimbayev M.R., Gabdysalyk R., Buzauova T.M., Karsakova N.ZH., Imasheva K.I., Seysenbayev D.S. Issledovaniye tekhnologicheskikh vozmozhnostey kontrol'no-izmeritel'nykh sredstv dlya kontrolya otverstiy krupnogabaritnykh detaley / Nauchnoye obozreniye. – Moskva: Izd-vo ID «Akademiyi Yestestvoznaniya», 2019. – № 2 -S. 45-49.
6. Donenbaev B.S. Sherov K.T., Sikhimbayev M.R. Absadykov B.N. Karsakova N.Zh. Using ansyswb for optimizing parameters of a tool for rotary friction boring / News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. 2021, Volume 3, Number 447 (2021), 20-27 <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.57>

7. Sherov K.T., Donenbayev B.S. Karsakova N.ZH. Írí gabarittı zháne korpus tetikterdı dayarlauda k,oyylatyn talaptar / Trudy mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii «Integratsiya nauki, obrazovaniya i proizvodstva – osnova realizatsii Plana natsii» (Saginovskiye chteniya №10), 13-14 iyunya 2018 g. Chast' 3. – Karaganda: Izd-vo KarGTU, 2018. – S.102-104.

8. Rebrova I.A. Planirovaniye eksperimenta: ucheb. pos. – Omsk: SibADI, 2010.-105 s.

9. Kadyrov A.S., Kadyrova I.A. Osnovy nauchnykh issledovaniy. – Karaganda: KarGTU, 2015. – 279 s.

10. Yermekov M.A., Makhov A.A. Statistiko-determinirovanny metod postroyeniya mnogomernykh modeley s ispol'zovaniyem EVM: ucheb.posobiye. - Karaganda, KPTI, 1988.-70 s.

Сведения об авторах:

Шеров К.Т. – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологические машины и оборудования» Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина, Астана, пр. Женис 62, Казахстан.

Карсакова Н.Ж. – старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета имени А. Сагинова, Караганда, пр. Н. Назарбаева 56, Казахстан.

Доненбаев Б.С. – доктор PhD, постдокторант Карагандинского технического университета имени А. Сагинова, Караганда, пр. Н. Назарбаева 56, Казахстан.

Тусупова С.О. – доктор PhD, постдокторант Торайгыров университета, г. Павлодар, ул. Ломова 64, Казахстан.

Имашева К. – старший преподаватель кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация» Карагандинского технического университета имени А. Сагинова, Караганда, пр. Н. Назарбаева 56, Казахстан.

Есиркепова А.Б. – доктор PhD, постдокторант Карагандинского технического университета имени А. Сагинова, Караганда, пр. Н. Назарбаева 56, Казахстан.

Sherov K.T. – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Technological Machines and Equipment, Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin, Astana, 62 Zhenis Ave., Kazakhstan.

Karsakova N.Zh. – senior lecturer of the department of “Technological equipment, mechanical engineering and standardization” of Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, N. Nazarbayev Ave. 56, Kazakhstan.

Donenbaev B.S. – PhD doctor, postdoctoral student at Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, N. Nazarbayev Ave. 56, Kazakhstan.

Tussupova S.O. – PhD doctor, postdoctoral fellow at Toraiyrov University, Pavlodar, st. Lomova 64, Kazakhstan.

Imasheva K. – senior lecturer of the department of “Technological equipment, mechanical engineering and standardization” of Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, N. Nazarbayev Ave. 56, Kazakhstan.

Esirkepova A.B. – PhD doctor, postdoctoral student at Karaganda Technical University named after A. Saginov, Karaganda, N. Nazarbayev Ave. 56, Kazakhstan.

Т.Т. Мусабаев¹, Н.Ж. Жумадилова^{2*}, В.С. Портнов², С.К. Мусина³

¹РГП «Госградкадастр», Астана, Казахстан

²Кагарандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,
Караганда, Казахстан

³Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, Москва, Россия
E-mail: n-j-93@mail.ru

Инженерно-геологические условия территорий объектов строительства правобережья города Астаны

Аннотация. Природная опасность возникающая в результате подтопления застраиваемой правобережной части города Астаны паводковыми водами реки Есиль является на сегодняшний день актуальной проблемой столичного строительного комплекса. Подтопление является опасной проблемой за счет изменения геологической среды под воздействием влияния нагрузок от зданий и сооружений. Характер изменения свойств геологической среды в процессе обводнения зависит от устойчивости геологической среды во времени. Геологическая среда за счет природно-техногенных воздействий переходит в стадию неустойчивости геологической среды. Исследование инженерно-геологических условий участков объектов строительства позволит регламентировать функциональное использование территорий. Авторами разработаны геотехнические методы применения надежных расчетов напряженного состояния осадок фундаментов при проектировании зданий и сооружений, что позволило обеспечить безопасность и эксплуатационную пригодность объектов строительства. Предложен эффективный расчет осадки фундаментов для однородного грунта, в котором равновесие обеспечивается за счет сил сцепления и трения на границе вертикальных уплотняющих напряжений. Полученные результаты исследования применимы при решении геотехнических задач на стадии строительства зданий и сооружений.

Ключевые слова: подтопление грунтов, инженерно-геологические условия, влияние нагрузки, физико-механические свойства.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-275-291

1. Введение

На сегодняшний день одной из актуальных проблем столицы Казахстана является подтопление территории города: 75% застроенной территории находится в подтопленном состоянии, 10% из которых заболочены. В связи с внедрением в геологическую среду свайных фундаментов и глубокого заложения трубопроводов существует риск поднятия уровня грунтовых вод на всей территории строительных площадок столицы. Возникновение дефектов строительных конструкций и их оснований наиболее тесно связано с влиянием изменения физико-механических свойств грунтов и фильтраций грунтовых вод.

Настоящее исследование посвящено изучению геологической среды территорий участков правобережья для определения наличия природных и техногенных рисков для города Астаны. Изучение инженерно-геологических условий позволяют прогнозировать изменения геологической среды на ближайшую перспективу.

Вопросы влияния содержания воды в частицах грунта на дезинтеграцию грунтов по минеральному составу, размерам частиц, структуры физическим характеристикам исследовано во многих трудах отечественных и зарубежных исследователей [1-6]. Поведение осадки фундаментов в условиях мягких грунтов изучено в публикациях отечественных ученых [7]. Влияние нагрузок фундаментов зданий и сооружения городской застройки со временем приводит к изменению физико-механических свойств грунтов. Прогноз изменения физико-механических свойств, при разных условиях строительства и эксплуатации является основой выбора конструктивного решения и разработки метода предотвращения осадок и деформации строительных конструкций.

2. Методы

Гидрологические условия города Астаны определяются водами рек Ишим, озер Малый Талдыколь, Талдыколь и канала Нура-Ишим. Сток реки Ишим формируется тальми водами и атмосферными осадками. Площадь озер в ходе строительства засыпается грунтом для вертикальной планировки территорий, согласно генеральному плану столицы. В многоводные годы в озера Талдыкольской группы поступают воды из рек Есил. В геологическом строении участвуют породы мезо-кайнозойской коры выветривания (eMZ-KZ), включающей алевролиты и кремнистые известняки. Породы сильновыветрелые, до состояния суглинка, образуют дисперсную зону коры выветривания на глубине от 1 до 7 м.

Толща элювиальных пород перекрыта аллювиально-пролювиальными и аллювиальными отложениями средне – позднечетвертичного возраста (apQ_{II} -III, aQ_{II-III}), состоящими из глин полутвердых, заиленных, суглинков от твердой до мягкопластичной консистенции, песков разнозернистых. Данная толща залегает на глубине от 3 до 5 м.

В толще суглинков на глубине от 4 до 7 м встречаются прослой и линзы водонасыщенных песков.

Современные четвертичные образования представлены насыпными (техногенными) грунтами и почвенно-растительным слоем.

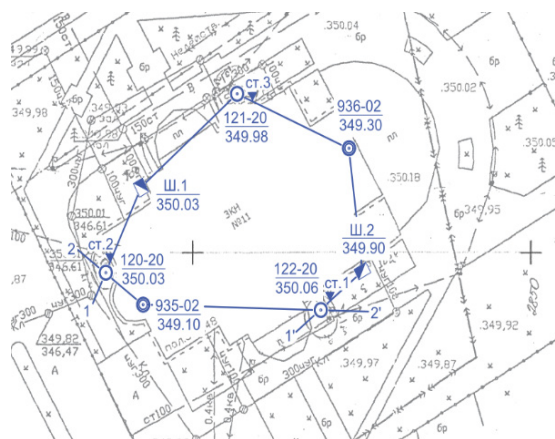
Грунтовые воды встречаются периодически. В четвертичных глинистых отложениях водоносный горизонт приурочен к линзам и прослоям песка, а в мезозойских отложениях – к трещинам и линзам дресвы. Экзогенные геологические процессы (оползни, сели, карст, разломы) не зафиксированы. Насыпные грунты сложены четвертичными суглинками, являються продуктом техногенного воздействия.

Рассмотрим инженерно-геологические условия отдельных строительных территорий на правобережье г. Астаны. Исследуемый участок находится на правом берегу р. Ак-булак, между руслом реки и улицей Пушкина (рис. 1).

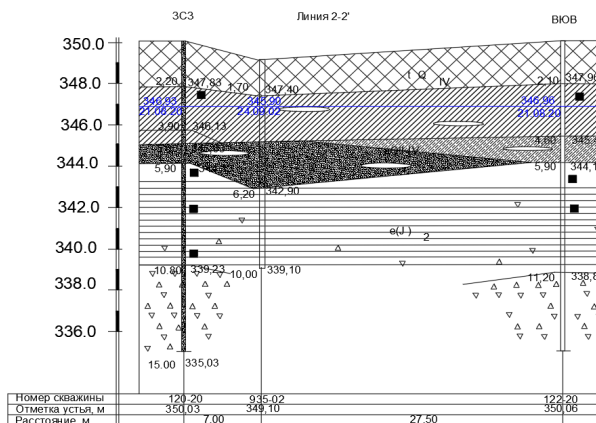


Рисунок 1. Общий вид фасада здания Синагоги в г.Астане

Здание Синагоги функционально разделяется на несколько зон, расположенных как горизонтально, так и вертикально. Здание состоит из трех основных частей: молебельного зала и административно-бытовых помещений. Центром композиции здания является молебельный зал, перекрытый куполом.



а) Схема расположения геологических скважин



б) Инженерно-геологический разрез объекта

Рисунок 2. Разрез геологических скважин с указанием их местоположения на участке здания Синагога

По периметру здания Синагоги расположены 7 горных выработок (скважины и шурфы). На схемах указаны их размещения и номера, абсолютные отметки устьев и линии геологического разреза (рисунок 2). Количество и расположение скважин определялось площадью участка с учетом подземных инженерных коммуникаций согласно топографическому плану участка. В геологическом строении здесь участвуют аллювиальные четвертичные отложения (суглинки и супеси, пески средней крупности), а также элювиальные образования (глины и щебенистые грунты) среднеюрского возраста. Сверху данные отложения перекрыты насыпными грунтами.

Слежавшиеся насыпные грунты мощностью 1,9-2,2 м представлены суглинками с дресвой, щебнем и песком. Суглинки буро-коричневые, тугопластичные, известковистые с линзами и прослоями песка средней крупности; суглинки мощностью 1,1-2,5 м вскрыты повсеместно на глубинах 1,9-2,2 м. Пески коричневые среднезернистые водонасыщенные мощностью 0,9-2,1 м вскрыты на глубинах 3,9-5,0 м с маломощными (до 5-7 см) прослоями супесей. Глины желтые, светло-серые, полутвердые с включением дресвы и щебня до 10-15 %, омарганцованные и ожелезненные вскрыты повсеместно на глубине 5,9-6,0 м; мощность их составляет 9,0-9,1 м. Щебенистые грунты мощностью 2,9-4,2 м с суглинистым заполнителем (до 4,0-7,4%) желтовато-, зеленовато-серые средневыветрелые с обломками аргиллитов вскрыты на глубинах 10,8-12,1 м.

По гидрогеологическим условиям территория реки Ак-Булак относится к району с нарушенным режимом грунтовых вод и интенсивной техногенной нагрузкой.

Грунтовые воды вскрыты на глубине 3,10 м (абсолютные отметки установившегося уровня составили 346,88 - 346,96 м). Река Ак-булак (правый приток реки Есиль) протекает вблизи здания Синагоги и является естественной дренажной, на которую разгружаются грунтовые воды прибортовой части долины, застроенной жилыми зданиями. Слабо- и среднедренированные уклоны грунтовых притоков на всем протяжении реки направлены в сторону ее русла и составляют по левому берегу 0,0013-0,0015. Естественный сток реки формируется также за счет притока в русло дренажных вод из отстойника ТЭЦ-2. Пик весеннего подъема, как правило, отмечается на несколько дней раньше прохождения максимума на р. Есиль. Расход воды при 1% обеспеченности 49 тыс.м³/сек, при обычном режиме 100 л/сек. Скорость воды 1,6 м/сек.

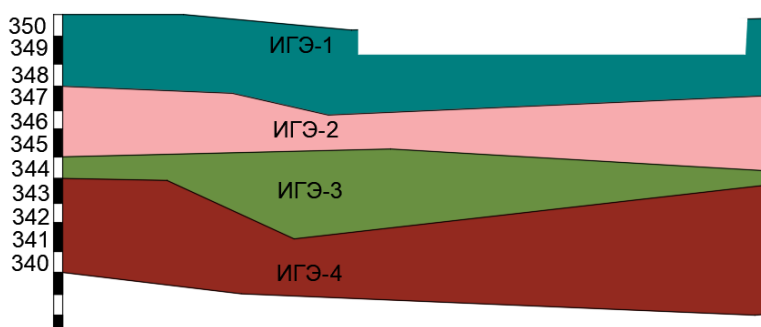


Рисунок 3. Схема залегания фундаментных блоков в толщах напластования грунтов здания Синагоги

Слои инженерно-геологических элементов и глубина залегания свайных фундаментов 1,8 м на верхнем слое ИГЭ-1 (насыпной грунт суглинка). В данном случае для надежной устойчивости здания необходимая глубина залегания должна быть ниже глубины промерзания грунтов не менее 2 м. Возможное влияние пучения насыпного грунта уменьшена при помощи конструктивных решений (трапециевидной опалубки, защитных экранов для ленты, засыпки пазух непучинистым грунтом, прокладки водоотводных каналов).

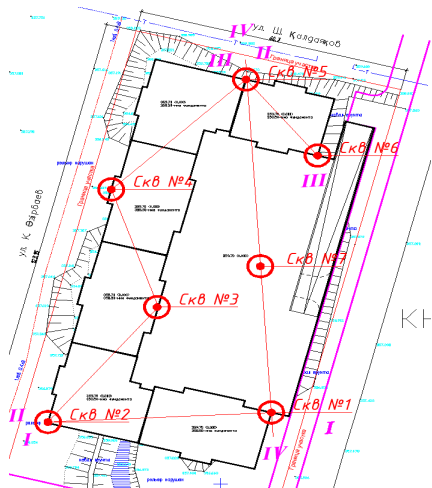
Рассмотрены инженерно-геологические условия территорий участка многоквартирного жилого комплекса Кок-Тобе в городе Астане. Исследуемый участок жилого комплекса расположен на правом берегу реки Ишим, в районе пересечения улиц Ш.Қалдаяқова и К.Әзірбаева (рис. 4).



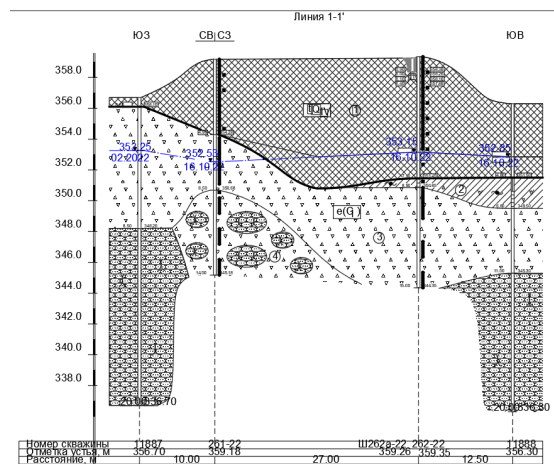
Рисунок 4. Общий вид строительных конструкций (пилоны, диафрагмы жесткости) на участке многоквартирного жилого комплекса Кок-Тобе, г.Астана

Рельеф строительной площадки относительно ровный, спланирован насыпным грунтом, абсолютные отметки от 356.30 до 356.80 (приведены по инженерно-геологическим выработкам). Ранее почти на всей площадке действовал карьер – в настоящее время засыпан, реки и озера отсутствуют. Объект расположен в секторе новой застройки г. Астаны. Объект состоит из 6 блоков, расположенных в целом С-образно и разделенных деформационными швами. Жилые здания с монолитным железобетонным каркасом и безбалочной системой. Фундаменты – свайные с монолитными железобетонными отдельно стоящими ростверками. Пилоны – монолитные железобетонные размерами 120х25 см, 165х25 см, 250х25 см. Диафрагмы жесткости – толщиной 20 см.

На схеме участка многоквартирного жилого комплекса Кок-Тобе продемонстрированы места расположения инженерно-геологических скважин (рис. 5).



а) Схема расположения геологических скважин



б) Инженерно-геологический разрез объекта

Рисунок 5. Разрез геологических скважин с указанием их местоположения на участке многоквартирного жилого комплекса Кок-Тобе

В геологическом строении до глубины 14,0 м участвуют элювиальные образования по осадочным породам нижнего карбона, представленные суглинками, дресвяно-щебенистыми грунтами, щебенисто-глыбовой зоной и песчаниками.

Неслежавшиеся насыпные грунты (tQ) мощностью 4,9-7,9 м представлены суглинками, супесями, реже – глинами с включениями дресвы и щебня (до 49,8 %) и бетоном. В скважине №260-22 с глубины 4,9 м пустоты заполнены льдом и снегом.

Суглинки желтовато-серые, омарганцованные и ожеженненные мощностью 1,10 м с прослоями дресвы и щебня выветрелых песчаников (до 10 %) встречаются на глубине 7,9 м.

Дресвяно-щебенистые грунты (кора выветривания песчаников) желто-серые, зеленовато-серые с суглинистым заполнителем (до 37,9 %); дресва и щебень мощностью 0,8-6,0 м представлены обломками слабо-средне выветрелых малопрочных песчаников и на глубине 4,9-9,7 м.

Щебенисто-глыбовая зона представлена переслаиванием щебенистых грунтов и глыб песчаников. Зона вскрыта всеми скважинами, ее мощность от 1,0 до 3,80 м. Щебень представлен средне-сильно выветрелыми и мало-прочными песчаниками серого и зеленовато-серого цвета.

Песчаники серые, темно-серые, плотные и очень плотные, выветрелые, трещиноватые, по трещинам ожеженненные мощностью от 1,1 до 2,8 м.

Абсолютные отметки установившегося уровня грунтовых вод составили 352,39-353,81 м; уровень вод подвержен сезонным колебаниям в диапазоне 1,0-2,0 м. Так, в весенний период ожидается подъем уровня грунтовых вод на 1,20 м с достижением абсолютных отметок 353,59 – 355,01 м.

На рисунке 6 представлены слои инженерно-геологических элементов и глубины залегания свайных фундаментов.

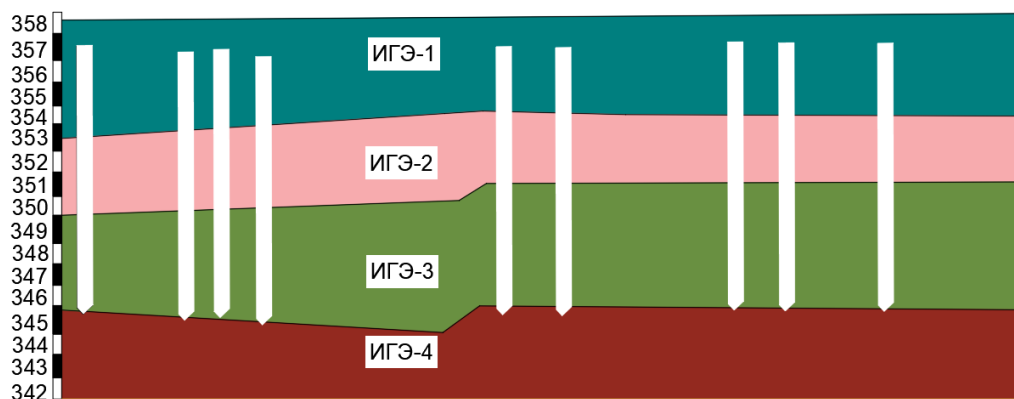


Рисунок 6. Схема залегания свайных фундаментов в толщах напластования грунтов многоквартирного жилого комплекса Кок-Тобе

На схеме залегания под блоками наблюдается резкое различие в толщах напластования грунтов основания ввиду того, что значительную часть площадки изначально занимал карьер, который впоследствии был заполнен насыпным грунтом общим объемом $V = 24733.015 \text{ м}^3$. В процессе возведения фундаментов указанное в проекте послойное уплотнение насыпного грунта не было выполнено должным образом, что привело к неравномерным осадкам фундаментов; кроме того, имеются нарушения требований норм в части устройства свайных фундаментов. На это все указывает наличие недопустимых деформаций грунтов основания и отклонения от проектного положения свайных фундаментов, выявленные на стадии строительства здания. В период установки свай, которые проводились в зимний период времени года, в грунтах обнаружен лед. Вода в твердом состоянии в виде линз с прослоями. Передвижение грунтовых вод переходит фазовое состояние под действием давления как пластичное тело.

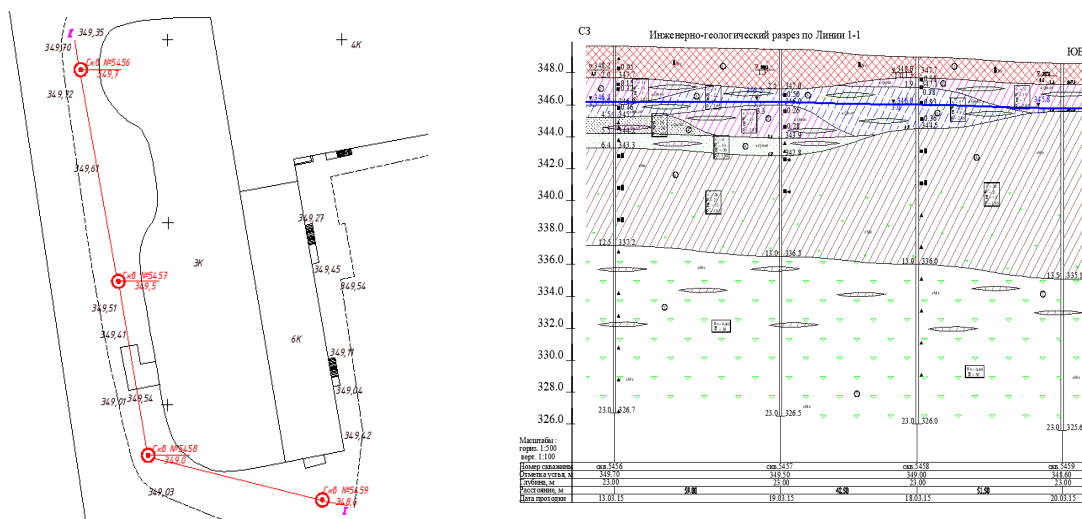
Далее рассмотрена инженерно-геологическая обстановка на строительной площадке торгово-развлекательного центра Сити Палас в г. Астане (рис. 7).



Рисунок 7. Общий вид фасада торгово-развлекательного центра Сити Палас в г.Астане

Торгово-развлекательный центр расположен в районе пересечения пр. Республики, ул. Коркыт, ул. Габдуллина, ул. Баянауыл и ул. А.Иманова. Фундаменты зданий запроектированы из железобетонных свай длиной 9,0 м квадратного сечения. Колонны каркаса здания – монолитные железобетонные сплошного сечения размерами 60x60 см. Перекрытия – горизонтальные жесткие диски из монолитных железобетонных плит толщиной 22 см.

На рисунке 8 по периметру многофункционального торгово-развлекательного центра Сити Палас расположены 4 горных выработки (скважины)



а) Схема расположения геологических скважин

б) Инженерно-геологический разрез объекта

Рисунок 8. Разрез геологических скважин с указанием их местоположения на участке торгово-развлекательного центра Сити Палас

В геологическом строении участка торгово-развлекательного центра Сити-Палас (ТРЦ Сити-Палас) до глубины 23,0 м встречаются аллювиальные средне-верхнечетвертичные отложения, представленные суглинками, супесями, песками мелкими и крупными, а также элювиальные образования мезозойского возраста (суглинки, щебенистые грунты), которые перекрыты несслежавшимися насыпными техногенными грунтами. Последние представлены дресвой, щебнем, строительным мусором, суглинистым заполнителем мощностью от 1,3 до 2,5 м.

Аллювиальные отложения средне-позднечетвертичного возраста включают суглинки коричневые, известковистые, твердые и полутвердые, на глубине 2,8-3,1 м – тугопластичные, на глубине 3,5-4,5 м – мягкопластичные с маломощными (2-5 см) прослойками супесей и разнозернистых песков. Аллювий вскрыт повсеместно под насыпными грунтами с глубины 1,3-2,5 м с мощностью 0,6-2,1 м. Супеси коричневые, известковистые с прослойками суглинков и песков. Супеси встречаются повсеместно, залегают под суглинками с глубины 1,9-3,7 м; мощность супесей от 0,8 до 2,6 м. Пески мелкие коричневые, полимиктовые, водонасыщенные с маломощными (1-3 см) прослойками суглинков. Пески вскрываются скважинами под супесями с глубины 4,5 м; их мощность 1,0 м.

Пески крупные коричневые, полимиктовые, водонасыщенные с маломощными (5-10 см) прослойками суглинков вскрыты под суглинками и мелкозернистыми песками с глубины 5,5 – 5,6 м; мощность их от 0,9 до 1,2 м.

Элювиальные образования мезозойского возраста представлены суглинками желто-бурыми, буровато-желтыми, твердыми, трещиноватыми со щебнем в виде рухляка из обломков сильновыветрелых алевролитов. Элювий вскрыт повсеместно под четвертичными отложениями, начиная с глубины 3,0-6,7 м. Вскрытая его мощность изменяется от 6,1 до 10,5 м.

Подземные воды на площадке ТРЦ Сити-Палас вскрыты повсеместно на глубинах 2,8-3,5 м с абсолютными отметками установившегося уровня вод 345,8-346,2 м. Режим грунтовых вод на площадке подвержен сезонным колебаниям с прогнозируемым максимальным подъемом уровня вод на 2,0 м выше от установившегося. Водовмещающими породами являются аллювиальные суглинки, супеси, пески, элювиальные суглинки и щебенистые грунты.

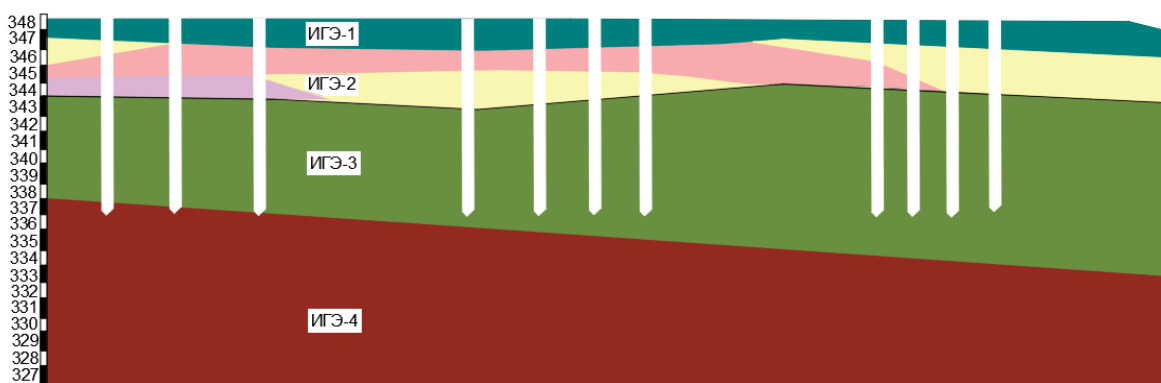


Рисунок 9. Схема залегания свайных фундаментов в толщах напластования грунтов ТРЦ Сити-Палас

На рисунке 9 отображены слои инженерно-геологических элементов и глубины залегания свайных фундаментов. Глубина заложения сваи составляет 10 м, нижний конец сваи заглублен суглинка твердой консистенции в слой перемещая более слабые по прочности грунты.

3. Результаты и обсуждение

В таблице 1 представлены результаты анализа физико-механических свойств грунтов основания объектов правобережья города Астаны.

Таблица 1 – Физико-механические характеристики грунтов исследуемых объектов

Основные физико-механические характеристики	Значения		
	МЖК Кок-Тобе	ТРЦ Сити Палас	Здание Синагоги
	ИГЭ 1 Насыпной грунт (суглинки и супеси)	ИГЭ 1 Насыпной грунт (суглинки)	ИГЭ 1 Насыпной грунт (суглинки)
Плотность ρ , г/см ³	1,85	1,77	1,87
Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	1,51	1,50	1,48
Плотность сухого грунта ρ_s , г/см ³	2,68	2,60	2,65
Влажность природная, %	7,9	15,5	10
Пористость n , %	39	44	35
Коэффициент пористости e	0,640	0,771	0,720
Степень влажности S_r	0,55	0,58	0,51
Влажность на границе текучести w_L , %	16,9	15,9	17
Влажность на границе текучести w_p , %	14,7	17	24
Число пластичности I_p	2,1	13	7
Показатель текучести I_t	<0	<0	
Удельное сцепление C , КПа	15	15	20
Угол внутреннего трения, градус	17	16	18
Модуль деформации E , МПа	5	5	7,5
Расчетное сопротивление R_0 , КПа	120	120	100
Основные физико-механические характеристики	ИГЭ 2 суглинок полутвердой и тугопластичной консистенции	ИГЭ 2 суглинок полутвердой и тугопластичной консистенции	ИГЭ 2 суглинок полутвердой и тугопластичной консистенции
Плотность ρ , г/см ³	1,92	2,04	2,12
Плотность сухого грунта ρ_d , г/см ³	1,51	1,52	1,86
Плотность сухого грунта ρ_s , г/см ³	2,71	2,80	2,73
Влажность природная, %	24,2	19,8	13,9
Пористость n , %	43	40	39
Коэффициент пористости e	0,753	0,590	0,390
Степень влажности S_r	0,87	0,86	0,78
Влажность на границе текучести w_L , %	37,6	27	25
Влажность на границе текучести w_p , %	23,3	16	18

Число пластичности I_p	14,3	11	7
Показатель текучести I_L	0,05	0,05	0,04
Удельное сцепление C , КПа	35	13	53
Угол внутреннего трения, градус	18	16	17
Модуль деформации E , МПа	9	7	13,2
Расчетное сопротивление R_0 , КПа	150	-	-
Основные физико-механические характеристики	ИГЭ 3 Щебенистый грунт характеризуется содержанием фракции (частиц крупнее 10мм) составляет от 69% до 87%	ИГЭ 3 Супеси пластичные с прослойками суглинка	ИГЭ 3 суглинок полутвердой и тугопластичной консистенции
Плотность ρ , г/см ³	2,20	2,07	2,01
Влажность природная, %	8	17,1	17
Влажность на границе текучести w_L , %	28,9	20	23
Число пластичности I_p	6,7	5	5
Показатель текучести I_L	<0	-	<0
Модуль деформации E , МПа	27	8	16,7
Расчетное сопротивление R_v , КПа	450	-	-
Основные физико-механические характеристики	ИГЭ 4 Песчаники среднезернистые, при замачивании в воде неразмягчаемые	ИГЭ 4 Пески полимиктовые водонасыщенные	ИГЭ 4м Глины желтые полутвердые
Плотность ρ , г/см ³	2,67	-	1,44
Предел прочности на одноосное сжатие при природной влажности R_c , МПа	12,5	-	10,6
Предел прочности на одноосное сжатие при замачивании влажности R_{cv} , МПа	8,7	-	9,2
Модуль деформации E , МПа	>40,0	24	7,7

По результатам лабораторных исследований суглинка четвертичного возраста, твердые и полутвердые. Прочностные характеристики определялись методом медленного консолидированного сдвига с предварительным уплотнением, а деформационные свойства - на компрессионных приборах одноосного сжатия.

Определение трехосного испытания грунтов проводилось с помощью стабилометра. Для построения графика результатов трехосного испытания четвертичного суглинка ИГЭ 2 (рис. 10) параметры вычислялись по формуле (1):

$$(\sigma_i) = f(\sigma); e_i = f(\sigma_i); e_v = f(\sigma), \quad (1)$$

где $\sigma_i = (1/\sqrt{3})(\sigma_1 - \sigma_3)$ – интенсивность касательных напряжений; $e_i = (2/\sqrt{3})(\varepsilon_1 - \varepsilon_3)$ – интенсивность деформации сдвига; $\sigma = (1/\sqrt{3})(\sigma_1 - 2\sigma_3)$ – среднее эффективное напряжение; $e_v = (2/\sqrt{3})(\varepsilon_1 - 2\varepsilon_3)$ – объемная деформация.

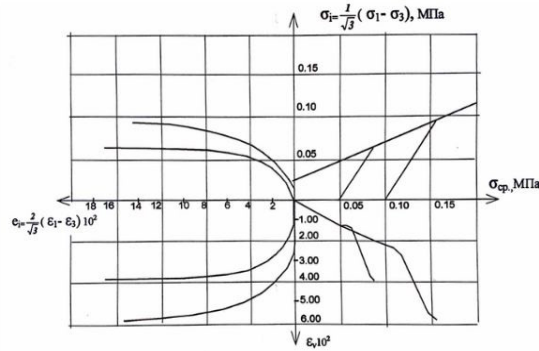


Рисунок 10. График трехосного испытания четвертичного суглинка

Для определения деформационных показателей в массиве грунтов проведена оценка сопротивления проникновению зонда в толщу пород. На рисунке 11 представлен график зависимости осадки от удельного давления $S = f(p)$.

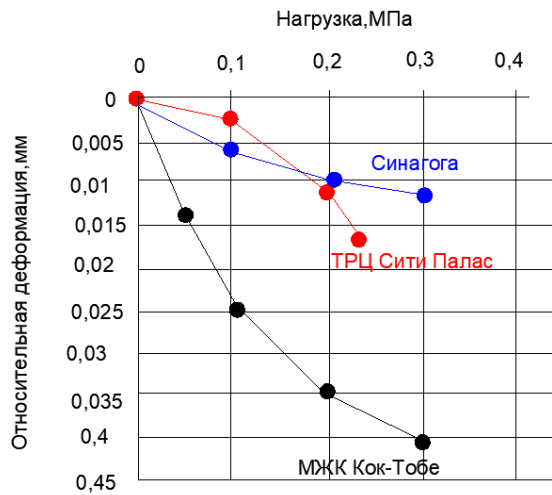


Рисунок 11. График зависимости осадки от удельного давления $S = f(p)$

Из графика установлено: значения зависимости осадок от нагрузок были получены при помощи штамповых испытаний, а также прочностные характеристики суглинка полутвердого и тугопластичной консистенции, интервал нагрузок составлял от 0,1 до 0,3 МПа; в результате получены заниженные значения модуля деформации, которые соответствуют разуплотненному состоянию грунта и не отражает его свойства в природном

залегании. К слабопучинистым грунтам относятся суглинки, расположенные на территории здания Синагоги и торгово-развлекательного центра Сити-Палас. К среднепучинистым грунтам относятся суглинки, расположенные на территории многоквартирного жилого комплекса Кок-Тобе.

Модуль деформации определен по формуле (2):

$$E = k \cdot d(1 - \mu^2) \frac{\Delta p}{\Delta s}, \quad (2)$$

где k – безразмерный коэффициент, зависящий от материала штампа и его формы; d – диаметр штампа; μ – коэффициент Пуассона; Δp – приращение среднего давления по подошве штампа; Δs – приращение осадки штампа при изменении давления на Δp .

Процесс подтопления грунтов влияет на изменения значения модуля деформаций, который является основной прочностной характеристикой грунтов основания. Значение модуля деформации глинистых грунтов при естественной влажности находится в пределах 9-12 МПа, а в водонасыщенном состоянии 4-7 МПа.

Для определения предполагаемой осадки фундаментов за счет замачивания грунтов предложен метод расчета осадки фундаментов с учетом подтопления по двум характерным сценариям: Сценарий 1 – Здание возводится на частично обводненном основании; Сценарий 2 – Обводнение подверженных ранее уплотненным грунтам оснований существующих зданий.

Для объектов рассмотренных в данном исследовании наиболее оптимальный вариант определен – сценарий 2 (рисунок 12).

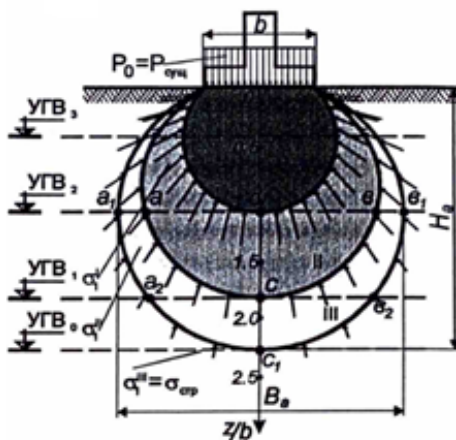


Рисунок 12. Расчет осадки фундамента, подверженного ранее уплотненным грунтам оснований

Расчет осадки фундамента проведен на основе следующих параметров:

H_a – толщина сжимаемой зоны, величина осадки будет зависеть от положения уровня грунтовых вод (УГВ);

УГВ0 – находится на глубине $Z = Z_1$ и не влияет на осадку фундамента;

УГВ1 – находится на глубине $Z = Z_2$ и зона III подвержена обводнению (малонагруженная), в этой зоне уменьшается коэффициент пористости в соответствии с напряженным состоянием III ($\Delta \sigma_1^{III}$).

УГВ2 находится на глубине $Z = Z_3$ и подвержена значительная часть активной зоны основания; этом случае будет отвечать соответствующим напряженным состояниям ($\Delta\sigma_1^{III}$) и $\Delta\sigma_1^{II}$).

Вокруг свайных фундаментов образуется уплотненная зона, которая превышает минимальное расстояние между сваями и является наиболее надежным основанием для территорий подверженным частым подтоплениям.

Пористость ИГЭ 1 и 2 не значительно отличаются друг от друга по характеристикам и являются тугопластичные.

По деформационным свойствам грунтов верхние слои инженерно-геологических элементов обладают пониженной прочностью, имеют небольшую влажность и обладают незначительной сжимаемостью: под нагрузкой, увеличение влажности грунтов приведет к снижению сжатия сопротивления, возможному растворению цементационных связей бетона ослабления и потери прочности.

Современные техногенные грунты обладают пониженной деформационной прочностью могут использоваться в качестве естественных оснований.

Грунты пониженной минеральной плотности, суглинки, пески и супеси – обладают высоким водонасыщением.

Расхождение прогнозируемых и фактических осадок глинистых грунтов возникает в связи с тем, что произведен неправильный подбор расчетной модели грунтового основания, погрешностей приборов испытания грунтов. Испытание грунтов на трехосное сжатие позволяет определить прочностные и деформационные свойства грунтов при сложном напряженном состоянии и значительно уменьшают объем лабораторных опытов [8, 9].

Так как изученные объекты имеют свайные фундаменты наиболее надежным является использование методов штампового модуля деформации E , полученного в полевых условиях. Для расчета осадки фундаментов учитывались также размеры фундаментов (глубина заложения, размеры в плане), которые по сути можно рассматривать как штамп больших размеров.

Для этого рассмотрены результаты статического испытания грунтов сваями жилого комплекса «Изумрудный квартал», расположенном на левом берегу г. Астаны [10].

Данные исследования показали, что, значения модуля деформации были заложены в расчеты осадки основания и показали хорошую сходимость с замеренной осадкой фундаментов зданий. Предлагаемый метод определения модуля деформации позволяет наиболее точно спрогнозировать осадки фундаментов зданий и заслуживает дальнейших исследований.

Результаты испытания статистической нагрузки на сваях в слоях мягких и твердых или жестковатых глинах показали пригодность и надежность свайных фундаментов по технологиям DDS/FDP и являются наиболее подходящим вариантом для строительных площадок Казахстана и наглядно продемонстрировали свои преимущества [11, 12].

Дополнительные исследования при помощи геодезических измерений за горизонтальными перемещениями фундамента сооружения и результаты инструментального обследования подтвердили влияние грунтовых вод на устойчивость фундамента. Поверочные расчеты ввелись с учетом физико-механических свойств инженерно-геологических слоев. Поверочные расчеты позволили сделать вывод что, геотехнический анализ проведения сооружений в заявленных грунтовых условиях является достоверным.

4. Выводы

Состояние территорий правобережья города Астаны является источником геотехнического риска в связи с природными факторами такими как: одновременного затопления паводковыми водами, циклическое изменение уровня грунтовых вод и изменение прочностных характеристик грунтов.

Застроенные территории зданий повышенной этажности оказывает наибольшее влияние их взаимное расположение, которое подтверждается расчетами напряженно-деформированного состояния.

Предложенные методы расчета осадков фундамента позволяют спрогнозировать дальнейшие изменения прочностных характеристик грунтов основания на устойчивости зданий и сооружений в целом. Зона распространения деформации определяется из условия равновесия. Осадка грунта определялась по величине деформации грунта в зоне наименьших уплотняющих напряжений. Напряженные грунты преимущественно обладают упругими деформациями, т.е. величина остаточных деформаций в объеме общей деформации незначительны и на практике ею можно пренебречь.

Активная застройка участков подверженных к подтоплению территорий значительно влияет на геологическую среду и предполагается изменения характера взаимосвязи режима колебания подземных вод, что приводит к опасным инженерно-геологическим процессам.

Несущая способность грунтов оценивалась по показателю модуля деформаций инженерно-геологических слоев.

По итогам исследования слои суглинка, супеси щебенистого грунта относятся к второй категории.

Вторая категория является приемлемой для строительства, относится к средней несущей способности и требует специальных инженерных мер защиты. Несущая способность по показателям модуля деформаций находится в пределах 0,2-0,3 МПа.

Список литературы

1. Awwad T., Mussabayev T., Tulebekova A., Jumabayev A. Development of the computer program of calculation of concrete bored piles in soil ground of Astana city // GEOMATE Journal. – 2019. – Vol. 17(60). – P. 176-182. <https://doi.org/10.21660/2019.60.17339>.
2. Benin A., Gorodnova E. Geotechnical Analysis of Structural Behaviour Under Complex Geological Engineering Conditions // Procedia Engineering. – 2018. – Vol. 189. – P. 65-69. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.011>.
3. Zhussupbekov A., Alibekova N., Akhazhanov S., Sarsembayeva A. Development of a Unified Geotechnical Database and Data Processing on the Example of Nur-Sultan City // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11(1). – 306. <https://doi.org/10.3390/app11010306>.
4. Xia D., Zhao B., Liu D., Deng Y., Cheng H., Yan Y. Effect of soil moisture on soil disintegration characteristics of different weathering profiles of collapsing gully in the hilly granitic region, South China // Plos one. – 2018. – Vol. 13 (12). – e0209427. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209427>.
5. Sarah P. Soil aggregation response to long- and short-term differences in rainfall amount under arid and Mediterranean climate conditions // Geomorphology. – 2005. – Vol. 70. – P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.03.007>.
6. Mussabayev T.T., Nuguzhinov Z.S., Nemova D., Kayupov T., Tolkyndaev T.A., Akmakanova A.Z., Khafizova G.S. Creep of concrete in shell structures: nonlinear theory // Materials. – 2023. Vol. 16(16). – 5587. <https://doi.org/10.3390/ma16165587>.
7. Жусупбеков А. Ж., Енкебаев С. Б., Лукпанов Р. Е., Тулебекова А. С. Расчет осадки свайных фундаментов высотных зданий в грунтовых условиях Астаны // Основания, фундаменты и механика грунтов. – 2012. – № 3. – С. 14-17. – EDN RXHSDB.
8. Утепов Е. С., Попов В. Н. Методика оценки сжимаемости грунтов застроенных территорий, подверженных техногенезу // Труды университета. – 2002. – № 4. – С. 50-52. – EDN NZGQPJ.
9. Попов В. Н. Геологическая среда и ее значение при планировании подземного строительства в г. Астане // Вестник «Зодчий 21 век». – 2012. – № 2. – С. 68-71.
10. Жусупбеков А. Ж., Енкебаев С. Б., Лукпанов Р. Е., Султанов Г. А., Бойко М. В. К расчёту осадки свайных фундаментов высотных зданий в грунтовых условиях Астаны // [Электронный ресурс] Репозиторий Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева – URL: <https://dspace.enu.kz> (дата обращения: 25.11.2023).

11. Issakulov A., Omarov A., Zhussupbekov A., Mussakhanova S., Issakulov, B. Investigation of the interaction of the bored micro pile by DDS (FDP) technology with the soil ground. // GEOMATE Journal. – 2023. – Vol. 24(105). P. 11–17.

12. Alibekova N., Abisheva A., Dosmukhambetova B., Saktaganova N., Abdikerova U., Budikova A. Use of GIS technologies for zoning urban areas taking into account engineering-geological conditions // GEOMATE Journal. – 2023. - Vol. 25(110), P. 167-175.

Астана қаласының оң жағалауындағы құрылыс нысандары аумақтарының инженерлік-геологиялық жағдайлары

Т.Т. Мусабаяев¹, Н.Ж. Жумадилова², В.С. Портнов², С.К. Мусина³

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан

²Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

³М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Мәскеу, Ресей

Аңдатпа: Есіл өзенінің тасқын суларының Астана қаласының оң жағалауының іргелі бөлігін тасуы нәтижесінде туындайтын табиғи қауіп бүгінде елордалық құрылыс кешеніндегі өзекті мәселе болып отыр. Ғимараттар мен құрылыстардан түсетін жүктердің әсерінен геологиялық ортаның өзгеруіне байланысты су басу қауіпті мәселе. Суару кезінде геологиялық ортаның қасиеттерінің өзгеру сипаты уақыт бойынша геологиялық ортаның тұрақтылығына байланысты. Табиғи және техногендік әсерлердің әсерінен геологиялық орта геологиялық ортаның тұрақсыздығы кезеңіне өтеді. Құрылыс алаңдарының инженерлік-геологиялық жағдайларын зерттеу аумақтарды функционалды пайдалануды реттеуге мүмкіндік береді. Авторлар ғимараттар мен құрылыстарды жобалау кезінде іргетас шөгінділерінің кернеулік күйінің сенімді есептеулерін қолданудың геотехникалық әдістерін әзірледі, бұл құрылыс жобаларының қауіпсіздігі мен жұмысқа жарамдылығын қамтамасыз етуге мүмкіндік берді. Тік нығыздаушы кернеулер шекарасында адгезия мен үйкеліс күштерінің есебінен тепе-теңдік қамтамасыз етілетін біртекті топырақ үшін іргетастың шөгудің тиімді есебі ұсынылады. Алынған зерттеу нәтижелері ғимараттар мен құрылыстарды салу сатысында геотехникалық мәселелерді шешуде қолданылады.

Түйін сөздер: топырақтың су басуы, инженерлік-геологиялық жағдайлары, жүктеменің әсері, физикалық-механикалық қасиеттері.

Engineering-geological conditions of the territories of construction sites on the right bank of the city of Astana

T. Mussabayev¹, N. Zhumadilova², V. Portnov², S. Mussina³

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

²Abylqas Saginov Karaganda Technical University, Karaganda, Kazakhstan

³Lomonosov Moscow State University, Moscow, Russia

Abstract. The natural hazard that arises as a result of flooding of the built-up right bank part of the city of Astana by flood waters of the Yesil River is today an urgent problem in the capital's construction complex. Flooding is a dangerous problem due to changes in the geological environment under the influence of loads from buildings and structures. The nature of changes in the properties of the geological environment during watering depends on the stability of the geological environment over time. Due to natural and man-made influences, the geological environment moves into the stage of instability of the geological environment. The study of engineering and geological conditions of construction sites will make it possible to regulate the functional use of territories. The authors have developed geotechnical methods for using reliable calculations of the stress state of foundation settlements in the design of buildings and structures, which made it possible to ensure the safety and serviceability of construction projects. An effective calculation of foundation settlement for homogeneous soil is proposed, in which equilibrium is ensured due to the forces of adhesion and friction at the boundary of vertical compacting stresses. The

obtained research results are applicable when solving geotechnical problems at the stage of construction of buildings and structures.

Keywords: soil flooding, engineering-geological conditions, load influence, physical and mechanical properties.

References

1. Awwad T., Mussabayev T., Tulebekova A., Jumabayev A. Development of the computer program of calculation of concrete bored piles in soil ground of Astana city // GEOMATE Journal. – 2019. – Vol. 17(60). – P. 176-182. <https://doi.org/10.21660/2019.60.17339>.
2. Benin A., Gorodnova E. Geotechnical Analysis of Structural Behaviour Under Complex Geological Engineering Conditions // Procedia Engineering. – 2018. – Vol. 189. – P. 65-69. <https://doi.org/10.1016/j.proeng.2017.05.011>.
3. Zhussupbekov A, Alibekova N, Akhazhanov S, Sarsembayeva A. Development of a Unified Geotechnical Database and Data Processing on the Example of Nur-Sultan City // Applied Sciences. – 2021. – Vol. 11(1). – 306. <https://doi.org/10.3390/app11010306>.
4. Xia D, Zhao B, Liu D, Deng Y, Cheng H, Yan Y, et al. Effect of soil moisture on soil disintegration characteristics of different weathering profiles of collapsing gully in the hilly granitic region, South China // Plos one. – 2018. – Vol. 13 (12). – e0209427. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0209427>.
5. Sarah P. Soil aggregation response to long- and short-term differences in rainfall amount under arid and Mediterranean climate conditions // Geomorphology. – 2005. – Vol. 70. – P. 1–11. <https://doi.org/10.1016/j.geomorph.2005.03.007>.
6. Mussabayev T.T., Nuguzhinov Z.S., Nemova D., Kayupov T., Tolkyndaev T.A., Akmakanova A.Z., Khafizova G.S. Creep of concrete in shell structures: nonlinear theory // Materials. – 2023. Vol. 16(16). – 5587. <https://doi.org/10.3390/ma16165587>.
7. Zhussupbekov A. Zh., Enkebaev S. B., Lukpanov R. E., Tulebekova A. S. Raschet osadki svajnykh fundamentov vysoknykh zdaniy v gruntovykh usloviyakh Astany [Calculation of settlement of pile foundations of high-rise buildings in soil conditions of Astana], Osnovaniya, fundamenty i mekhanika gruntov [Foundations, foundations and soil mechanics], 2012. № 3. P. 14-17. – EDN RXHSDB [in Russian].
8. Utenov E. S., Popov V. N. Metodika ocenki szhimaemosti gruntov zastroennykh territorij, podverzhennykh tekhnogenezu [Methodology for assessing the compressibility of soils in built-up areas subject to technogenesis], Trudy universiteta [Proceedings of the University], 2002. № 4. P. 50-52. – EDN NZGQPJ [in Russian].
9. Popov V. N. Geologicheskaya sreda i ee znachenie pri planirovanii podzemnogo stroitel'stva v g. Astane [Geological environment and its importance when planning underground construction in Astana], Vestnik «Zodchij 21 vek» [Bulletin "Architect 21st century"], 2012. № 2. C. 68-71. [in Russian].
10. Zhussupbekov A. Zh., Enkebaev S. B., Lukpanov R. E., Sultanov G. A., Bojko M. V. K raschetu osadki svajnykh fundamentov vysoknykh zdaniy v gruntovykh usloviyakh Astany [To calculate the settlement of pile foundations of high-rise buildings in the soil conditions of Astana], [Electronic resource] Repozitorij Evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N. Gumileva [Repository of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov], URL: <https://dspace.enu.kz> (date of the application: 25.11.2023) [in Russian].
11. Issakulov A., Omarov A., Zhussupbekov A., Mussakhanova S., Issakulov, B. Investigation of the interaction of the bored micro pile by DDS (FDP) technology with the soil ground. // GEOMATE Journal. – 2023. – Vol. 24(105). P. 11–17.
12. Alibekova N., Abisheva A., Dosmukhambetova B., Saktaganova N., Abdikerova U., Budikova A. Use of GIS technologies for zoning urban areas taking into account engineering-geological conditions // GEOMATE Journal. – 2023. - Vol. 25(110), P. 167-175.

Сведения об авторах:

Мусабаев Т.Т. – доктор технических наук, профессор, академик Национальной инженерной академии Республики Казахстан, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана, 11, Астана, Казахстан.

Жумадилова Н.Ж. – PhD докторант, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, пр. Нурсултана Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан.

Портнов В.С. – доктор технических наук, профессор, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, пр. Нурсултана Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан.

Мусина С.К. – аспирант, Московский государственный университет имени М.В. Ломоносова, ул. Ленинские горы, 1, стр. 52, Москва, Россия.

Мусабаев Т.Т. – техника ғылымдарының докторы, профессор, Қазақстан Республикасы Ұлттық инженерлік академияның академигі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университеті, Кажымұқан к-сі, 11, Астана, Қазақстан.

Жумадилова Н.Ж. – PhD докторанты, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Нұрсұлтан Назарбаев даң-лы, 56, Қарағанды, Қазақстан.

Портнов В.С. – техника ғылымдарының докторы, профессор, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Нұрсұлтан Назарбаев даң-лы, 56, Қарағанды, Қазақстан.

Мусина С.К. – аспирант, М.В. Ломоносов атындағы Мәскеу мемлекеттік университеті, Ленин таулары к-сі, 1, 52-бет, Мәскеу, Ресей.

Mussabayev T. – doctor of technical sciences, professor, academician of the National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan st., 11, Astana, Kazakhstan.

Zhumadilova N. – PhD student, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nursultan Nazarbayev ave., Karaganda, Kazakhstan.

Portnov V. – doctor of technical sciences, professor, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 Nursultan Nazarbayev ave., Karaganda, Kazakhstan.

Mussina S. – PhD student, Lomonosov Moscow State University, bld. 52, 1 Leninskiye gory st., Moscow, Russia.

*А. Ш. Алимгазин¹, А. Н. Бергузинов²,
Г.Т. Мерзадинова¹, Н.А. Баимбетов¹, Г. Ж. Тасболат¹

¹НАО «Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева»,
г. Астана, Республика Казахстан;

²НАО «Торайгыров университет», г. Павлодар, Республика Казахстан

Повышение эффективности транспортировки высоковязкой нефти по магистральным нефтепроводам путем внедрения теплонасосной технологии

Аннотация. В статье рассмотрены вопросы внедрения повышения эффективности транспортировки высоковязкой нефти по магистральным нефтепроводам Республики Казахстан путем внедрения теплонасосной технологии ее подогрева с использованием нетрадиционных источников энергии. Впервые предложена к практическому внедрению на объектах АО «НК «КазМунайГаз» (далее – АО «КМГ») конкретная технология и схема применения низкоуглеродного модульного теплонасосного комплекса (НМТК) подогрева сырой нефти с использованием сбросной теплоты воды с температурой +11⁰С, отделенной после сепарации нефте-водяной эмульсии, выкачиваемой из скважин. В качестве пилотной площадки для проведения опытно-промышленных испытаний (далее – ОПИ) предварительно рассматривается НГДУ «Жайыкмунайгаз» месторождение Ю.З. Камышитовое с 2-х ступенчатой схемой подогрева нефти. При проведении ОПИ планируется установить модуль с тепловым насосом (НМТК) на узле подогрева нефти, тем самым снизить нагрузку на технологических печах, что в итоге существенно снизит потребление топливного газа. Данная инициатива является инновационной и впервые предусматривает использование тепловых насосов в процессе подогрева нефти в Республике Казахстан. Перспективы применения НМТК – в тиражировании данной технологии на другие добычные активы АО «НК «КазМунайГаз».

Ключевые слова: теплонасосная установка, энергоэффективность, энергосбережение, нетрадиционные источники энергии, низкоуглеродный модульный теплонасосный комплекс, подогрев высоковязкой нефти, декарбонизация.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-292-301

1. Введение

Преобразование энергетической системы, основанной на ископаемом топливе, в устойчивую и декарбонизированную систему является одной из величайших задач человечества. Сегодня около 80 % первичной энергии в мире производится из ископаемого топлива, сжигание которого приводит к выбросу в атмосферу около 34 млрд. т диоксида углерода [1-6].

В настоящее время наблюдается тенденция увеличения доли добываемой высоковязкой нефти. В связи с этим возникают проблемы с магистральным нефтепроводом из-за неизбежного увеличения гидравлического сопротивления.

На территории Республики Казахстан, как и в Российской Федерации, имеется несколько магистральных неизотермических трубопроводов для перекачки высокопарафинистой нефти. В этих нефтепроводах используются различные технологии перекачки высоковязкой, высокозастывающей нефти. Депрессорные присадки применяются для улучшения реологических свойств в нефтепроводах США-Ухта-Ярославль (Российская Федерация), Кумколь-Каракоин-Шымкент (Республика Казахстан); Печи используются для подогрева нефти в нефтепроводе Узень-Гурьев-Самара (Республика Казахстан, Российская Федерация). [2,7].

Зимой, особенно в очень холодные периоды, температура нефти в трубопроводе снижается. Если гидравлическое сопротивление трубопровода значительно возрастает и превышает возможности насосного оборудования, перекачку прекращают. В таком режиме используется нефтепровод Кумколь-Каракоин, несмотря на добавление депрессорных присадок, улучшающих транспортные свойства прокачиваемой по нему нефти, перекачка нефти приостанавливается на 2-3 месяца. [3-8].

В статье рассмотрен способ транспортировки высоковязкой нефти, ограничивающий процессы сжигания за счет использования низкопотенциального природного тепла, превращающего высокопотенциальную нефть в источник тепла в тепловых насосах.

Одним из перспективных направлений эффективного применения новых энергосберегающих технологий, адаптированных к суровым климатическим условиям Республики Казахстан, является направление, связанное с использованием нетрадиционных источников энергии.

Одним из перспективных направлений эффективного использования новых энергосберегающих технологий, адаптированных к суровым климатическим условиям Республики Казахстан, является область, связанная с использованием нетрадиционных источников энергии.

2. Материалы и методы

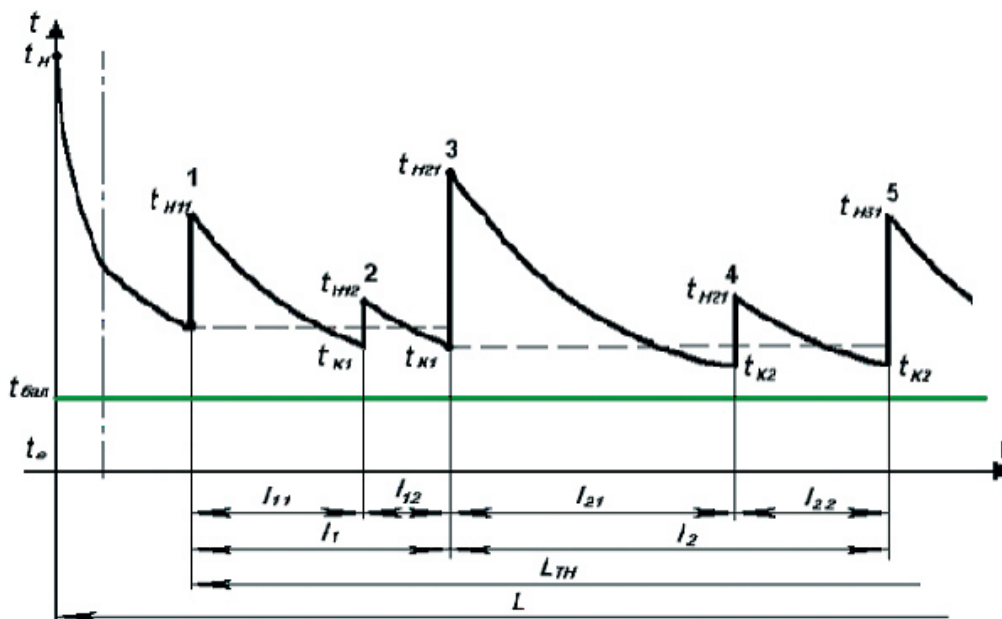
На промежуточных тепловых станциях магистральных нефтепроводов, оборудованных пожарными или паровыми нагревателями, широко известен способ нагрева высоковязкой нефти. Основными недостатками такого способа отопления являются потребление первичных энергоресурсов в виде топлива (нефти, мазута или газа) и загрязнение воздушного бассейна вредными продуктами при сжигании этих видов топлива в топках топливных обогревателей или паровых котлов.

Исследования показали, что чем ближе температурный режим насоса к изотермическому режиму, тем экономичнее будет рассмотренный вариант насоса [7].

Минимум затрат соответствует варианту изотермической перекачки с температурой $t_{\text{нал}}$, превышающей температуру t_c окружающей среды на 3.5 и более градусов. При этом положительным является то, что используется тепло трения.

Рекомендуется метод «разделенного» нагрева, при котором температурный режим насоса близок к изотермическому [7].

Метод заключается в основном в рассредоточенном расположении на нефтепроводной трассе маломощных тепловых станций на ограниченных участках. Имеет «пильчатое» распределение температуры по длине нефтепровода (рисунок 1).



L – длина нефтепровода; $L_{ТН}$ – длина части нефтепровода, подогреваемого с помощью ТНУ; l_j – длина j -го участка (расстояние между двух ТНУ, использующих водные источники низкотемпературного тепла); l_{ji} – длина i -го участка j -го (расстояние между двумя соседними ТНУ); t_{Hj}, t_{Kj} – соответственно начальная и конечная температуры i -го участка j -го; t_H – температура закачиваемой в трубопровод нефти; $t_{бал}$ – балансовая температура перекачки; t_0 – температура грунта на глубине заложения оси трубопровода в ненарушенном тепловом состоянии.

Рисунок 1 – Распределение температуры по длине трубы при использовании метода снижения вязкости нефти с помощью тепловых насосов

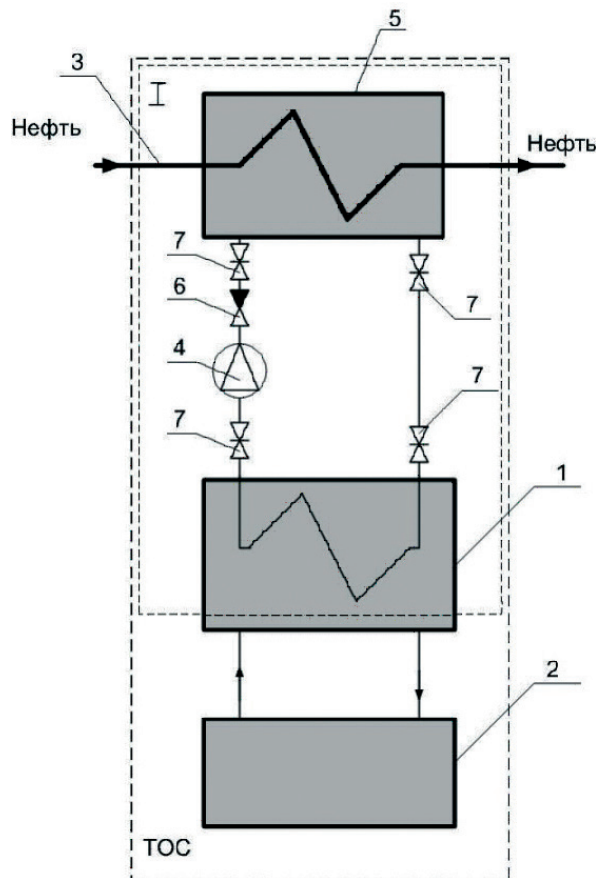
В качестве маломощных тепловых станций мы рекомендуем использовать тепловые насосные установки [9-11]. Для нагрева высоковязкой нефти в техническом результате вместо сжигания в топках пунктов обогрева нефти, мазута, газа или утилизации тепла выхлопных газов газоперекачивающих агрегатов используется низкотемпературное тепло природного теплораспределителя, которое затем преобразуется в тепловые насосы.

Анализ способа нагрева нефти с помощью теплового насоса показывает, что предложенный метод обеспечивает энергосберегающую и экологически чистую технологию нагрева высоковязких нефтяных потоков, транспортируемых по магистральным нефтепроводам.

Низкотемпературный источник тепла первичный теплораспределитель, который передает тепло хладагенту, циркулирующему в тепловом насосе 1. Низкотемпературными источниками тепла 2 могут быть грунтовые, русловые и подземные реки, озера, морские воды. Низкотемпературное тепло, получаемое охлаждающей жидкостью, преобразуется в высокотемпературное тепло с помощью теплового насоса. Полученное высокотемпературное тепло передается промежуточному энергоносителю, циркулирующему в контуре I под действием температурного давления.

На практике таких случаев нет и впервые рассматривается как возможность применения тепловых насосов в процессах нагрева нефти в магистральных нефтепроводах, так и метод низкотемпературной перегонки (перегонки с «распределенным» нагревом).

Так как тепловые насосы в качестве источника используют низкотемпературное (природное) тепло и работают тем эффективнее, чем меньше разница температурных перепадов в конденсаторе T_K и испарителе T_{Hj} , то эффект будет наибольшим, если их устанавливать в конце перегонов, на низкотемпературных участках, рассредотачивая по трассе [3-8].



1 – установка теплового насоса; 2 – низкотемпературный источник тепла; 3 – линейная часть магистрального нефтепровода; 4 – циркуляционный насос; 5 – теплообменник; 6 – клапан; 7 – задвижка.

Рисунок 2 – Структурная схема, объясняющая способ нагрева потока нефти в магистральных нефтепроводах

Такой вариант распределения тепловых насосов имеет следующие преимущества:

1 – использование магистрального нефтепровода при относительно низких температурах осуществляется с использованием тепла трения;

2 – при низкотемпературном давлении теплообмен с окружающей средой менее интенсивен, а потери тепла меньше;

3 – поскольку тепло, полученное от почвенного массива, возвращается в почву и практически не передается в атмосферу, на земле поддерживается почти нулевой тепловой баланс, обеспечивая минимальное тепловое воздействие на почвы северных регионов. Такое снижение теплообмена полностью соответствует требованиям экологической безопасности в районах, где проходят северные трассы и препятствует оттаиванию грунта с промерзшим основанием.

Расстояние между тепловыми станциями меньше длины многотрубного нефтепровода, а природные источники пригодного для использования низкотемпературного тепла неравномерно расположены на трассе, поэтому в большинстве случаев места установки ТНУ могут быть установлены изначально [3-8].

Считаем, что расстояния l_i между пунктами подогрева (рисунок 2) заданы. При определении мощности ТНУ необходимо учитывать также, что затраты на сооружения ТНУ и эксплуатацию в перспективе зависят от вида источника низкотемпературного тепла.

3. Результаты и обсуждение

Впервые предложена к практическому внедрению на объектах АО «НК КазМунайГаз» конкретная технология и схемы применения НМТК с использованием в качестве источника теплоты с использованием сбросной теплоты воды, отделенной после сепарации нефтеводяной эмульсии, выкачиваемой из скважин с температурой +11°C [9-11].

НМТК с использованием альтернативных источников энергии в стационарной или модульной конфигурации представляет собой контейнер с металлической изоляцией, контейнерную опору, ограждающие конструкции, выполненные в виде трехслойных панелей, состоящих из гофрированных листов, изолированных от плит минеральной ваты (рисунок 3) [9-11].



Рисунок 3 – Общий вид предлагаемого основного оборудования НМТК в модульной компоновке

Внедрение в Республике Казахстан энергосберегающих экологически чистых технологий на базе НМТК [9-11] дает возможность:

- существенной экономии топливно-энергетических ресурсов;
- отопление нефтью предотвращает парафинизацию труб, а также снижает потери нефти при разгрузке из цистерн, танкеров и потери энергии, связанные с перекачкой нефти по трубопроводам.

Преимущество использования НМТК является использование альтернативных источников энергии для нагрева нефти во всех случаях с высоким содержанием парафина и асфальто-смолистых веществ (до 25%).

При транспортировке нефти по магистральным трубопроводам к дальним потребителям подогрев нефти производится в специальных печах тепловых станций, устанавливаемых примерно через каждые 100 км трассы.

В качестве топлива используют нефтяной или природный газ.

4 ноября 2021 году Советом директоров КМГ утверждена Программа низкоуглеродного развития АО «НК «КазМунайГаз» на период 2022 – 2031 годы (далее – ПНУР).

Одним из основных направлений по снижению углеродного следа ПНУР КМГ является повышение энергоэффективности и развитие возобновляемых источников выбросов.

В рамках реализации Программы низкоуглеродного развития АО «НК «КазМунай Газ» на период 2022 – 2031 годы департаментом низкоуглеродного развития совместно со специалистами АО «Эмбаунайгаз» (АО «ЭМГ») проведено целевое техническое обследование технологических объектов, целью которого являлось оценка потенциала использования НМТК на основных и вспомогательных объектах АО «ЭМГ».

По результатам обследования предложено использовать парокompрессионную тепловую машину – тепловой насос в модульной комплектации (НМТК) для подогрева

сырой нефти. Низкопотенциальным источником тепла планируется использовать сопутствующую воду с температурой $+11^{\circ}\text{C}$, отделенную после сепарации из нефтеводяной эмульсии из скважины [9-11].

Данная инициатива является инновационной и впервые предусматривает использование тепловых насосов в процессе подогрева нефти в Республике Казахстан.

В качестве пилотной площадки для проведения опытно-промышленных испытаний (ОПИ) предварительно рассматривается НГДУ «Жайкмунайгаз» месторождение Ю.З. Камышитовое с 2-х ступенчатой схемой подогрева нефти до $55-60^{\circ}\text{C}$. А недалеко от него расположен источник низкопотенциального тепла в виде сопутствующей воды, отделенная после сепарации нефтеводяной эмульсии, выкачиваемой из скважины (рисунок 4).

В настоящее время на участке подготовки нефти (УПН) месторождения Ю.З. Камышитовое нефть после РВС (резервуаров) нагревается в технологических печах ПТ-16/150 (тепловая мощность $1,6 \text{ Гкал/ч}$) по 2-х ступенчатой схеме. При проведении ОПИ планируется установить модуль с тепловым насосом на узле подогрева нефти, тем самым снизить нагрузку на технологических печах, что в итоге существенно снизит потребление топливного газа.



Рисунок 4 – Схема установки модуля НМТК с тепловым насосом

В случае получения положительного заключения по результатам ОПИ планируется дальнейшее тиражирование данной практики.

Перспективы применения НМТК - в тиражировании данной технологии на другие добычные активы АО «НК «КазМунайГаз».

По итогам опытно-промышленных испытаний предлагается оценить эффекты, технико-экономическую целесообразность внедрения тепловых насосов на аналогичных позициях АО «ЭМГ», а также на других добывающих ДЗО АО «НК «КазМунайГаз».

4. Выводы

При внедрении НМТК [9-11] объектах АО «НК «КазМунайГаз» планируется получить значительный экономический, экологический эффект за счет замены традиционных источников тепла Республики Казахстан (котельные, работающие на твердом, жидком топливе, электрические котлы), снижения выбросов парниковых газов в атмосферу.

Таким образом, источником доходности проектов при внедрении НМТК на вышеуказанных объектах АО «НК «КазМунайГаз» являются:

1. Существенный экономический эффект, то есть разница в стоимости тепловой энергии, приобретаемой от котельных и вырабатываемых с применением НЭТК (в 3-5 раза).

2. Значительное снижение эксплуатационных расходов вышеперечисленных объектов, использующих альтернативные источники энергии для обогрева нефти.

3. Сокращение выбросов парниковых газов и, как следствие, сокращение экологических платежей хозяйствующих субъектов.

Список использованных источников

1. Декарбонизация добывающих отраслей экономики Республики Казахстан / Под ред. академика НАН РК, д.т.н., проф. С.Ж. Даукеева. – Нур-Султан: Би-ПРИНТ, 2021.- 295 с.
2. Романюк В.Н., Бобич А. А., Муслина Д.Б., Коломыцкая Н.А., Мальков С.В., Бубырь Т.В. Абсорбционные тепловые насосы в тепловой схеме ТЭЦ для повышения её энергетической эффективности // Энергия и Менеджмент. – 2013. – № 1. – С. 14–19.
3. Wei Wu, Baolong Wang, Wenxing Shi, Xianting Li Absorption heating technologies: A review and perspective / Applied Energy 130, 2014, P. 51–71
4. Jian S., Lin F., Shigang Zh. Experimental study of heat exchanger basing on absorption cycle for CHP system // Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 102. P. 1280-1286.
5. Xiaoyun X., Yi J. Absorption heat exchangers for long-distance heat transportation // Energy. 2017. Vol. 141. P. 2242-2250
6. Dorothee Keppler Absorption chillers as a contribution to a climate-friendly refrigeration supply regime: Factors of influence on their further diffusion: Journal of Cleaner Production 172 (2018) P. 1535-1544
7. Бурдуков А.П., Петин Ю.М. Тепловые насосы для России: технология использования геотермального и сбросного тепла предприятиями // Оборудование. Разработки. Технологии. – 2007. – № 7(07). – С.27–32.
8. Zhiqiang Liu, Nan Xie, Sheng Yang. Thermodynamic and parametric analysis of a coupled LiBr/H₂O absorptionchiller/Kalina cycle for cascade utilization of low-grade waste heat: Energy Conversion and Management Volume 205, 1 February 2020, P.112370
9. Алимгазин А.Ш., Бергузинов А.Н. Применение технологии «Зеленое отопление» для энергообеспечения объекта «Центр исследования энергии» международной выставки «EXPO-2017» // Вестник ПГУ им. С.Торайгырова, серия «Энергетическая». – 2017. – № 1. – С.21–28.
10. Алимгазин А.Ш., Бергузинов А.Н., Султангузин И.А., Серикпаев М.О., Ахметова И.Г. Перспективы применения технологий трансформации теплоты для декарбонизации углеродной экономики Республики Казахстан // Вестник Торайгыров университета, Энергетическая серия. – 2022. – № 2. – С.45–62.
11. Алимгазин А.Ш., Бергузинов А.Н. Применение блочно-модульной теплонасосной установки для утилизации теплоты систем технического водоснабжения промышленных предприятий Республики Казахстан // Вестник КазАТК – 2021. – №4. – С. 74–85.

References

- Dearbonizaciya dobyvayushchih otraslej ekonomiki Respubliki Kazahstan [Decarbonization of extractive industries of the economy of the Republic of Kazakhstan] / Ed.Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Doctor of Technical Sciences, prof. S.Zh. Daukeeva. – Nur-Sultan: Bi-PRINT, 2021. – 295 p.
2. Romanyuk, V. N., Bobich, A. A., Muslina, D. B., Kolomytskaya, N. A., Malkov, S. V., Bubyry, T. V. Absorbzcionny`e teplovy`e nasosy` v teplovoj skheme TE`Cz dlya povu`sheniya eyo e`nergeticheskoy e`ffektivnosti [Absorption heat pumps in the heat circuit of a thermal power plant to increase its energy efficiency] // Energy and Management. – 2013. – No. 1. – P. 14–19.
 3. Wei Wu, Baolong Wang, Wenxing Shi, Xianting Li Absorption heating technologies: A review and perspective / Applied Energy 130, 2014, P. 51–71
 4. Jian, S., Lin, F., Shigang, Zh. Experimental study of heat exchanger basing on absorption cycle for CHP system // Applied Thermal Engineering. 2016. Vol. 102. P. 1280-1286.
 5. Xiaoyun, X., Yi J. Absorption heat exchangers for long-distance heat transportation // Energy. 2017. Vol. 141. P. 2242-2250

6. Dorothee Keppler Absorption chillers as a contribution to a climate-friendly refrigeration supply regime: Factors of influence on their further diffusion: *Journal of Cleaner Production* 172 (2018) P. 1535-1544
7. Burdukov, A. P., Petin, Yu. M. Teplovy`e nasosy` dlya Rossii: tekhnologiya ispol`zovaniya geotermal`nogo i sbrosnogo tepla predpriyatiyami [Heat pumps for Russia: technology for the use of geothermal and waste heat by enterprises] // *Equipment. Developments. Technology.* - 2007. - No. 7 (07). - P.27-32.
8. Zhiqiang Liu, Nan Xie, Sheng Yang Thermodynamic and parametric analysis of a coupled LiBr/H₂O absorptionchiller/Kalina cycle for cascade utilization of low-grade waste heat: *Energy Conversion and Management* Volume 205, 1 February 2020, P.112370
9. Alimgazin, A. Sh., Berguzinov, A. N. Primenenie tekhnologii «Zelenoe otoplenie» dlya e`nergoobespecheniya ob`ekta «Czentr issledovaniya e`nergii» mezhdunarodnoj vy`stavki «EXPO-2017» [Application of "Green Heating" technology for energy supply of the facility "Energy Research Center" of the international exhibition "EXPO-2017"] // *Bulletin of PSU named after S. Toraiyrov, series "Energy".* - 2017. - No 1. - P. 21-28.
10. Alimgazin A. Sh., Berguzinov A. N., Sultanguzin I. A., Serikpaev M. O., Akhmetova I. G. Perspektivy primeneniya tehnologi transformasii teploty dlä dekarbonizatsii uglerodnoi ekonomiki Respubliki Kazahstan [Prospects of application of heat transformation technologies for decarbonization of the carbon economy of the Republic of Kazakhstan] // *Bulletin of Toraiyrov University, Energy Series.* - 2022. - No. 2. - pp.45- 62.
11. Alimgazin A. Sh., Berguzinov A. N. Primenenie blochno-modülnoi teplonasosnoi ustanovki dlä utilizatsii teploty sistem tehničeskogo vodosnabženia promyšlennyh predpriati Respubliki Kazahstan [Application of block-modular heat pump installation for heat utilization of technical water supply systems of industrial enterprises of the Republic of Kazakhstan] // *Bulletin of KazATC* - 2021. - No. 4. - pp. 74-85. ses of the Republic of Kazakhstan] // *Bulletin of KazATC* - 2021. - No. 4. - pp. 74-85.

Жылу сорғы технологиясын енгізу арқылы магистральдық мұнай құбырлары арқылы тұтқырлығы жоғары мұнайды тасымалдау тиімділігін арттыру

*А. Ш. Алимгазин¹, А. Н. Бергузинов², Мерзадинова Г.Т.¹, Баимбетов Н.А.¹,
Г.Ж.Тасболат¹

¹Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан Республикасы;

²Торайғыров университеті, Павлодар қ., Қазақстан Республикасы

Аңдатпа. Мақалада дәстүрлі емес энергия көздерін пайдалана отырып, оны жылытудың жылу сорғы технологиясын енгізу арқылы Қазақстан Республикасының магистральдық мұнай құбырлары арқылы тұтқырлығы жоғары мұнайды тасымалдаудың тиімділігін арттыруды енгізу мәселелері қаралды. Алғаш рет “ҚазМұнайГаз “ҮК” АҚ (бұдан әрі – “ҚМГ” АҚ) объектілерінде ұңғымалардан айдалатын мұнай-су эмульсиясын бөлгеннен кейін бөлінген +110С температурасы бар судың ағызу жылуын пайдалана отырып, шикі мұнайды Жылытудың төмен көміртекті модульдік жылу сорғы кешенін (ҰМКК) қолданудың нақты технологиясы мен схемасы іс жүзінде енгізуге ұсынылды. “Жайықмұнайгаз” мұнайды жылытудың 2 сатылы схемасы бар Ю.З. Камышитовое кен орны тәжірибелік-өнеркәсіптік сынақтарды (бұдан әрі – ТӨС) өткізуге арналған пилоттық алаң ретінде алдын ала қаралады. ТӨС жүргізу кезінде мұнай жылыту торабында жылу сорғысы бар модульді орнату жоспарлануда, осылайша технологиялық пештердегі жүктемені азайтады, нәтижесінде отын газын тұтынуды айтарлықтай төмендетеді. Бұл бастама инновациялық болып табылады және алғаш рет Қазақстан Республикасында мұнайды жылыту процесінде жылу сорғыларын пайдалануды көздейді. “ҚазМұнайГаз “ҮК” АҚ басқа да өндіру активтеріне осы технологияны тираждауда ҰМКК қолдану перспективалары.

Кілтгі сөздер: жылу сорғы қондырғысы, энергия тиімділігі, энергияны үнемдеу, дәстүрлі емес энергия көздері, төмен көміртекті модульдік жылу сорғы кешені, жоғары тұтқыр мұнайды жылыту, декарбонизация.

Improving the efficiency of transportation of high-viscosity oil through trunk pipelines by introducing heat pump technology

*A. Sh. Alimgazin¹, A. N. Berguzinov², G.T.Merzadinova¹, N.A. Baymbetov¹, G. Zh. Tasbolat¹

¹L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan

²Toraighyrov University, Pavlodar, Republic of Kazakhstan

Abstract. The article deals with the issues of introducing an increase in the efficiency of transportation of high-viscosity oil through the main oil pipelines of the Republic of Kazakhstan by introducing heat pump technology for heating it using unconventional energy sources. For the first time, a specific technology and scheme for the use of a low-carbon modular heat pump complex (NMTC) for heating crude oil using the waste heat of water with a temperature of +110C separated after separation of the oil-water emulsion pumped from wells has been proposed for practical implementation at the facilities of JSC NC KazMunayGas (hereinafter - JSC KMG). The Yu.Z. Kamyshtovoye field with a 2-stage oil heating scheme is being preliminarily considered as a pilot site for conducting pilot-industrial tests (hereinafter - CPI) by NGDU "Zhaiykmunaygas". During the CPI, it is planned to install a module with a heat pump (NMTC) at the oil heating unit, thereby reducing the load on the process furnaces, which will eventually significantly reduce fuel gas consumption. This initiative is innovative and for the first time provides for the use of heat pumps in the process of heating oil in the Republic of Kazakhstan. The prospects for the use of NMTC are in the replication of this technology to other mining assets of JSC NC KazMunayGas.

Keywords: heat pump installation, energy efficiency, energy saving, unconventional energy sources, low-carbon modular heat pump complex, heating of high-viscosity oil, decarbonization.

Сведения об авторах

Алимгазин А. Ш. - доктор технических наук, и.о.профессора, Евразийский национальный университет, Астана, Казахстан.

Бергузинов А.Н. - PhD, профессор, Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан.

Баймбетов Н. - технический директор НИИ «Энергосбережение и энергоэффективность технологий», Евразийский национальный университет, Астана, Казахстан.

Тасболат Г. Ж. – докторант, Евразийский национальный университет, Астана, Казахстан.

Алимгазин А.Ш. - техника ғылымдарының докторы, и.о.профессора, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Бергузинов А.Н. - PhD, профессор, Торайгыров университеті, Павлодар, Қазақстан.

Баймбетов Н. - «Энергия үнемдеу және технологиялардың энергия тиімділігі» ғылыми-зерттеу институтының техникалық директоры, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Тасболат Г. Ж. - докторант, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан.

Alimgazin A.S. - Doctor of Technical Science, professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Berguzinov A.N. - PhD, Professor, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan.

Baymbetov N. - Technical Director of the Research Institute «Energy Saving and Energy Efficiency of Technologies», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Tasbolat G.Z. - PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

A. Doshibekova^{1*}, I. Jurinskaya¹, S. Tashpulatov²

¹Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan

²Tashkent Institute of textile and light industry, Tashkent, Uzbekistan

E-mail: *aizhan.aisha111@mail.ru

Investigation of the influence of technological parameters on the copper deposition process

Abstract. *The possibility of electroplating copper coatings on chemically and chemical-galvanically nickel-plated acrylic fibers has been studied. The effect of electrolyte pH, its composition, current strength at the 1st and 2nd cathodes, as well as the metallization time on the electrophysical, physical and mechanical properties of copper-containing fibers have been studied.*

Electrically conductive fibers with different copper contents have been obtained. Regularities have been established for the change in the electrical properties of fibers depending on the content of copper. The studies have shown that with an increase in the copper content, the electrical conductivity, the uniformity of the coating and the uniformity of the electrophysical properties (for chemical-galvanically nickel-plated fiber) increase. In the case of copper plating of chemically nickel-plated fiber, the coefficient of variation in electrical resistance increases with increasing plating time, despite the fact that the copper content increases, and the coefficient of variation in copper content and electrical resistance decreases.

Keywords: *electrically conductive chemical fibers, electrical conductivity, electrical resistance, electrolyte, electrodeposition.*

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-145-4-302-311

Introduction

Today, all leading manufacturers of metallized fabrics use nickel as a metal coating. This metal is a ferromagnet, so it reflects well the magnetic component of electromagnetic radiation [1].

Personal protective equipment against electromagnetic radiation includes head protection equipment (protective helmets, hats), eye and face protection (goggles and protective shields), respiratory protection equipment (gas masks and respirators), hand protection (mittens), means of protection against falling (safety belts and safety ropes) and special protective clothing (suits, gowns, aprons, vests) [2].

Electrically conductive chemical fibers, which are marketed by several leading countries, differ significantly in the way they are obtained, the nature of the conductive components used and of their distribution in the polymer mass. The areas of application of such fibers are constantly expanding and their demand is increasing. The development of new technologies to produce electrically conductive fibers and the study of their properties are urgent tasks of modern polymer chemistry and materials science [3].

Metal coatings are applied to dielectrics either by vacuum spraying or by precipitation from solutions, and the latter method is more versatile and can be used for metallizing products of complex shape and, if necessary, obtaining metal coatings with specified functional properties [4].

In the scientific article, antimicrobial silver ions were introduced into knitted and non-woven fabrics using the methods of dry curing with a swab and spraying. The absorbency of nonwoven fabric is significantly higher than that of other knitted fabrics before and after antimicrobial treatment [5].

The work "Development of electroless silver plating on Para-aramid fibers and growth morphology of silver deposits" investigated the electrodeless silvering of para-aramid fibers and the morphology of the growth of silver deposits. The results showed that a higher silver mass gain was beneficial for improving the conductivity of paraaramide fibers deposited with silver [6].

Electromagnetic Shielding Fabric (ESF) is a new electromagnetic shielding product with portability, flexibility and good mechanical properties [7].

The occurrence of static charges on the clothes of medical workers is facilitated by many electrical appliances in modern medical centers, low air humidity, as well as the background level of ionizing radiation. This problem is most relevant for clinical laboratories, physiotherapy and diagnostic rooms. The possibility of using the method of magnetron sputtering of metals on textile materials was studied for the manufacture of medical clothing to impart antistatic properties, provided that their physical and hygienic characteristics are preserved [8].

Applying a metal coating to fibers using supercritical fluid (SCF) is a manufacturing technology used to produce highly conductive fibers; further research is currently being actively conducted on synthetic fibers such as aramid, polyester and nylon fibers [9].

The revision of literature and patent data on the production, properties and use of electrically conductive fibers and materials based on them shows that a lot of attention is paid to the problem of obtaining electrically conductive fibers and products. This is primarily due to the fact that such valuable properties as low density, elasticity, chemical resistance, electrical conductivity, relatively low cost, successfully compete with metal fibers and allow solving urgent problems in various sectors of economy. Currently, to produce metallized fibers, chemical and electroplating metallization methods are most often used, which make it possible to give the fibers a sufficiently high electrical conductivity while maintaining or slightly reducing their strength. However, there are a limited number of publications on the possibility of applying galvanic copper coatings to chemical fibers. The purpose of the current work is to study the possibility of applying a copper coating by electroplating on a pre-chemically and chemical-galvanically nickel-plated fiber, as well as to conduct a set of experiments to study the properties of the resulting copper-containing fiber and comparing the data obtained with the original sample. Sufficiently detailed studies of the influence of technological parameters on the deposition of copper on chemically and chemical-galvanically nickel-plated fiber were carried out [10].

Materials and Methods

The fabric used is pre-chemically and chemically electroplated nickel-plated acrylic fiber. The purpose of this study was to study the possibility of applying a copper coating by electroplating on a pre-chemically and chemically-galvanically nickel-plated acrylic fiber and to study the properties of copper-containing fibers.

From the whole variety of electrolytes, we selected the most commonly used three electrolytes. The compositions of electrolytes and the recommended parameters of their operation are presented in Table 1.

Table 1. Electrolyte compositions and recommended parameters

Electrolyte №1 sulfate	Electrolyte №2 pyrophosphate	Electrolyte №3 ethylenediamine
$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - 200 g/L H_2SO_4 (density 1.84 g/cm ³) - 50 g/L pH = 1 T = 20-30°C	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - 30 g/L $\text{Na}_4\text{P}_2\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - 120 g/L $\text{Na}_2\text{HPO}_4 \cdot 12\text{H}_2\text{O}$ - 60 g/L pH = 7.5-8.9 T = 20-30°C Current density - 0.3-0.4 A/dm ³ Current output - 75-80%	$\text{CuSO}_4 \cdot 5\text{H}_2\text{O}$ - 95 g/L $\text{C}_2\text{H}_4(\text{NH}_2)_2$ - 50 g/L $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$ - 50 g/L $\text{Na}_2\text{SO}_4 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ - 50 g/L pH = 6-7.8 T = 20-30°C

Investigation of the influence of technological parameters on the deposition of copper on chemical and chemical-galvanic nickel-plated fiber. The properties of copper coatings and their structure depend on the deposition conditions. In terms of physical properties, electrolytic copper differs from copper in an equilibrium state. Copper obtained by electrodeposition has increased hardness, electrical resistance and internal voltage.

Depending on the composition, type of electrolyte and structure of copper precipitation, its physical and mechanical properties can vary widely. In most cases, copper coatings are used when applying multilayer coatings such as copper-nickel-chromium or nickel-copper-nickel, etc.

Results and Discussion

Table 2 presents the results obtained in the study of the process of applying copper to chemically nickel-plated acrylic fiber in the above electrolytes. The data presented in Table 2 indicate that, other parameters being equal, the most favorable conditions for the deposition of copper on a nickel-containing fiber are created when using a pyrophosphate electrolyte. It was also found that when copper is deposited on a chemically nickel-plated fiber, the deposited metal is rather quickly oxidized in air with the formation of CuO and Cu_2O . When copper is deposited on chemical-galvanically nickel-plated fiber, the copper coating is more uniform and more resistant to oxygen. Based on the analysis of the data obtained, when studying the influence of various parameters on the process of electrolytic deposition of copper, further experiments were carried out using a pyrophosphate electrolyte.

Table 2. Results of the study of the process of applying copper to nickel-plated acrylic fibers in various electrolytes

Type of electrolyte and fiber	Maximum current on the 1 st cathode, A/ voltage, V	Maximum current on the 2 nd cathode, A/ voltage, V	Metallization time, min	Copper content in fiber, %	Note
№1, pH=1 Chemical nickel plated Chemical-galvanically nickel-plated	1.5/6	1.5/10	12	2.3	1) Copper is evenly deposited on the chemical-galvanically nickel-plated fiber. On chemically nickel-plated fiber, copper oxidizes rapidly. 2) Over time, copper begins to deposit on the cathode roller.
	2.0/10	3/16	6	3.9	
№2, pH=7.5-8.9 Chemical nickel plated Chemical pebbles nickel-plated	3/16	6/17	12	4.3	1) Copper is evenly deposited on the chemical-galvanically nickel-plated fiber. On chemically nickel-plated fiber, copper oxidizes rapidly. 2) No copper deposition on cathode rollers
	3/10	5/16	6	5.6	
№3, pH=6-7.8 Chemical nickel plated Chemical pebbles nickel-plated	1/15	1.5/18	12	Copper is not deposited on the fiber, it is deposited on the cathode rollers	High voltage on the cathode rollers, copper is not fixed on the fiber. Copper is deposited on the cathode rollers
	1/15	1.5/18	6		

The effect of current on the 1st and 2nd cathodes on the amount of copper deposited on the fiber, on the electrical resistivity of the fiber and on the uniformity of the copper coating was studied. The data obtained are presented in Table 3.

An analysis of the results obtained indicates that with an increase in the current strength at the 2nd cathode, the amount of copper deposited on the fiber increases, and the electrical resistivity of the fiber decreases accordingly. This improves the uniformity of the coating (KV_{Cu} decreases) and increases the uniformity of electrical properties (KV_{Q_v} also decreases). At the same time, the uniformity of the coating improves (KV_{Cu} decreases) and the uniformity of the electrophysical properties increases (KV_{p_v} also decreases).

Table 3. The effect of current on the 1st and 2nd cathodes on the properties of the fibers, subjected to electrolytic copper plating

Fibertype	Current strength on the 1 st cathode, i1, A	Current strength on the 2 nd cathode, i2, A	Copper content on fiber, Ccu, %	Coefficient of variation of copper content, KV _{Cu} %	Specific electrical resistance of the fiber, qv·10 ⁻⁶ Ohm·m	Coefficient of variation, KV qv, %
Chemical-galvanically nickel-plated fiber	1	3	3.74	41.2	12.3	51.4
	1	4	4.42	33.3	7.67	41.3
	1	5	4.74	26.4	7.39	32.8
Chemical-galvanically nickel-plated fiber	2	3	3.85	28.3	11.7	40.6
	2	4	5.25	24.5	6.4	40.0
	2	5	6.90	23.2	6.06	39.4
Chemical-nickelplatedfiber	1	3	4.06	19.8	592.9	52.8
	1	4	5.2	33.7	553.9	38.6
	1	5	5.6	42.1	507.2	27.4

It should be noted that when applying a copper coating on a chemical-galvanically nickel-plated fiber, increasing the current on the 2nd cathode to more than 4–5 A is not advisable, since this does not lead to a further decrease in resistance (Figure 1). Increasing the current on the 1st cathode up to 2 A, makes it possible to slightly increase the amount of copper deposited on the fiber and the electrical conductivity of the resulting fibers.

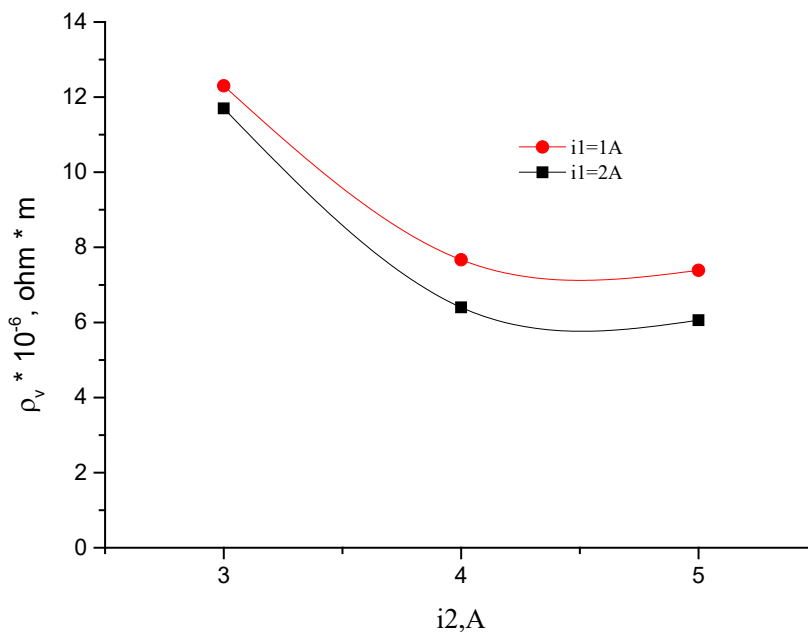


Figure 1. Influence of the magnitude of the current on the 1st and 2nd cathodes on the properties of chemical-galvanic nickel-plated fiber subjected to electrolytic copper plating, at a) i1 = 1 A; b) i1 = 2 A

For chemically nickel-plated fiber (Figure 2), the electrical conductivity of the fiber increases linearly with an increase in the current strength at the 2nd cathode. At the same time, to increase the current strength above 5 A, it is necessary to increase the voltage to values exceeding 16 V, which negatively affects the process of galvanic copper plating.

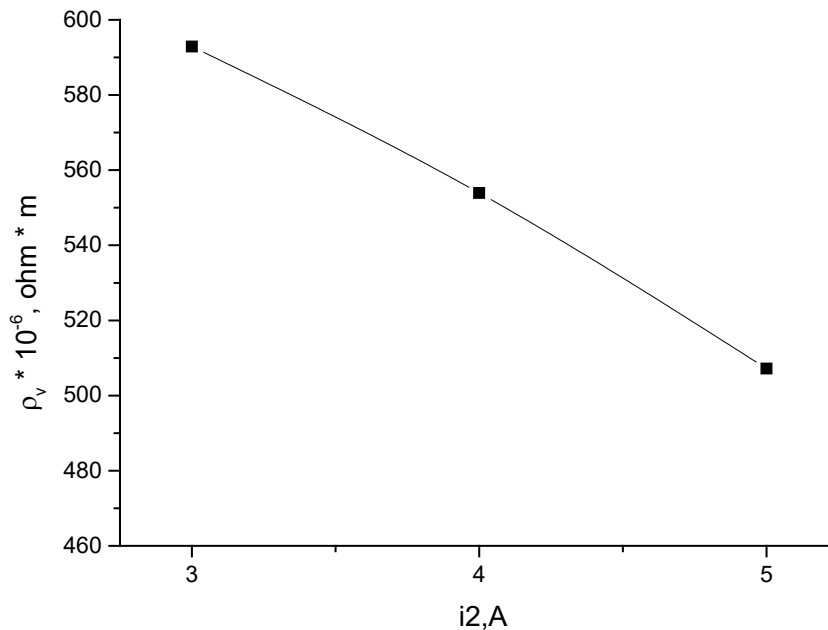


Figure 2. Influence of the current value on the 2nd cathode on the properties of chemical nickel-plated fiber subjected to electrolytic copper plating, at $i_1 = 1$ A

It should also be noted that in the case of copper plating of chemically nickel-plated fiber, the electrical conductivity is 1.5–2 decimal orders lower than in the case of copper coating of chemical-galvanically nickelized fiber with an approximately equal content of galvanic copper. This is due to the different electrical resistance of the original fibers subjected to metallization ($\rho_{v, \text{chemically nickel-plated fiber}} = 5 \cdot 10^{-5}$ Ohm·m, $\rho_{v, \text{chemically nickel-plated fiber}} = 5 \cdot 10^{-6}$ Ohm·m). As in the preliminary experiments, it was observed that the copper coating on chemically nickel-plated fiber is less resistant to weathering and oxidizes rather quickly ($\rho_{v, \text{chemically nickel-plated fiber}} = 5 \cdot 10^{-5}$ Ohm·m, $\rho_{v, \text{chemically nickel-plated fiber}} = 5 \cdot 10^{-6}$ Ohm·m). It should also be noted that when coppering a chemically nickel-plated fiber, the electrical conductivity is 1.5–2 decimal orders of magnitude lower than in the case of a copper coating of a chemically galvanically nickel-plated fiber with an approximately equal content of galvanic copper. This is due to the different electrical resistance of the initial fibers subjected to metallization ($\rho_{v, \text{chemical-galvanic nickel-plated fiber}} = 5 \cdot 10^{-5}$ Ohm·m, $\rho_{v, \text{hcv}} = 5 \cdot 10^{-6}$ Ohm·m).

The influence of the electrolysis time on the amount of deposited copper and, accordingly, on the electrical volume resistance of nickel-plated fibers was also studied. The results obtained (Table 4) indicate that for chemical-galvanically nickel-plated fiber, with an increase in the copper content, the electrical conductivity increases (Figure 2), as well as the uniformity of the coating and the uniformity of the electrical properties (Figure 3).

Table 4. Effect of plating time on the properties of fibers subjected to electrolytic copper plating

Fibertype	Metallizationtimemin.	Copper content on fiber, C _{cu} , %	Coefficient of variation of copper content, KV _{Cu} , %	Specific electrical resistance of the fiber, ρ _v ·10 ⁻⁶ Ohm·m	Coefficient of variation, KV ρ _v , %
Chemical-galvanically nickel-plated fiber	4	3.4	27.7	10.1	45.3
	6	5.25	24.5	6.4	38.1
	8	8.3	16.8	5.9	34.0
	10	11.7	13.8	5.2	26.3
Chemical-nickelplatedfiber	10	4.83	28.9	386.7	35.5
	12	6.2	30.0	320.4	52.0
	18	13.2	27.2	216.8	86.6
	24	21.2	28.0	206.0	107.7

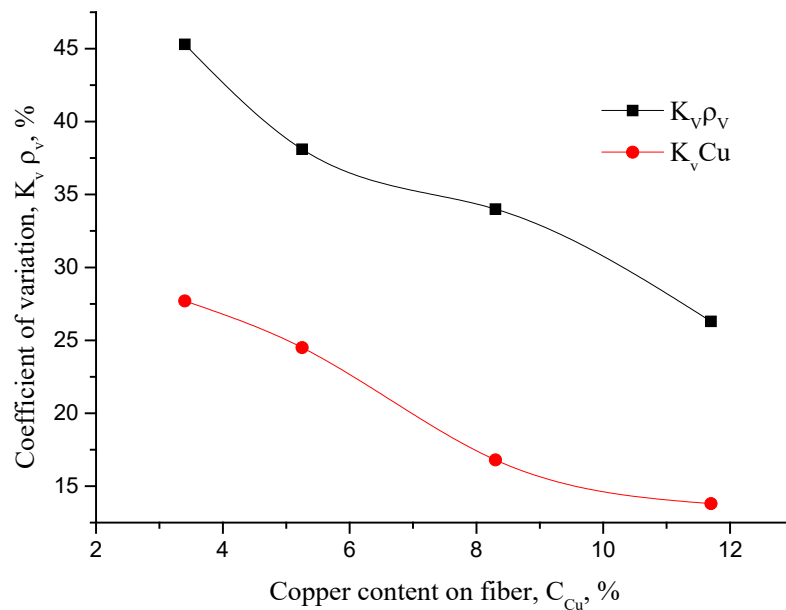


Figure 3. Dependence of the coefficients of variation for copper content (KVCu) and electrical resistance (KV ρ_v) on the amount of copper (C_{Cu}) deposited on chemical-galvanic nickel-plated fiber

During copper plating of chemically nickel-plated fiber, the coefficient of variation in electrical volume resistance increases with increasing copper content, while the coefficient of variation in copper content and electrical resistance decrease (Figures 2 and 4). This can apparently be explained by the fact that the oxidation of galvanic copper during the drying process is more intense, the greater its amount, and this is due to the direct contact of galvanic copper with nickel sulfide, which is always present in chemically nickel-plated fiber.

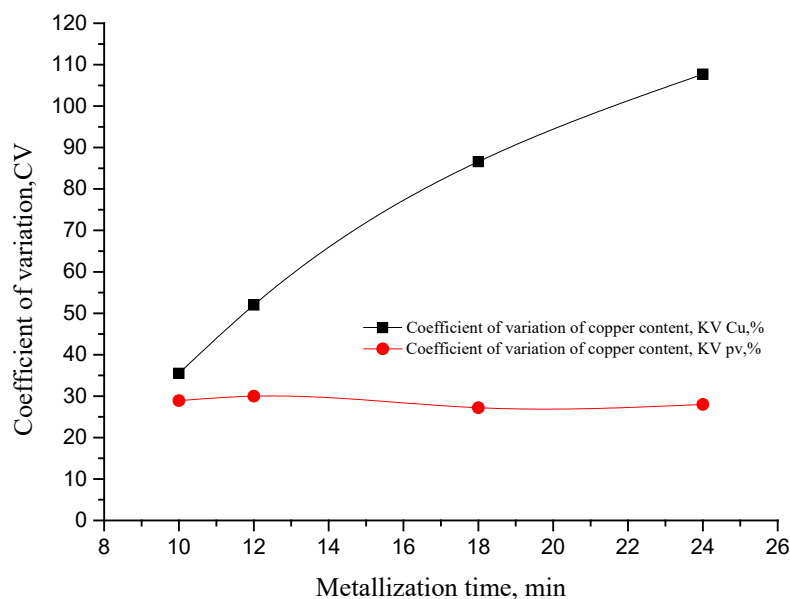


Figure 4. Dependence of coefficients of variation for copper content (KVCu) and electrical resistance (KV qv) on the amount of copper (C_{Cu}) deposited on nickel-plated fiber

In the case of copper plating of chemical-galvanically nickel-plated fibers, there is no such contact, since galvanized copper is in contact with the galvanized nickel coating, which explains the higher resistance of the copper coating.

Conclusions

According to the results of this study, electrically conductive fibers with different copper content were obtained. The regularities of changes in the electrophysical properties of fibers depending on the copper content in them are established;

Studies have shown that with an increase in the copper content, the electrical conductivity, the uniformity of the coating and the uniformity of the electrophysical properties (for chemically galvanized nickel-plated fiber) increase. In the case of coppering of chemically nickel-plated fiber, the coefficient of variation in electrical resistance increases with increasing metallization time, despite the fact that the copper content increases, and the coefficient of variation in copper content and electrical resistance fall.

References

- 1 Alaydar Zh.N., Ordakhanova N.B., Doshibekova A.B., Badanova A.K., Tashpulatov S.Sh. Development of a new technology of special finishing for obtaining metallized textile materials with protective properties // International independent scientific journal. – 2020. – Vol. 1(16). – P. 47-51.
- 2 Nikolaev S.D., Silchenko E.V. Protection of a person from electromagnetic radiation with the help of fabrics // Bulletin of the Technological University. – 2015. – Vol. 18(15). – P. 161-166.
- 3 Bondareva T.P., Zamostotsky E.G., Nevskikh V.V. Development of tissue with a shielding effect and study of its properties // Vestnik of Vitebsk state technological University. – 2013. – Vol. 2(25). – P. 13-18.
- 4 Stepanova L.I. Chemical and electrochemical deposition of metals, alloys, and metal-oxide composites on nonconducting substrates. Chemical and electrochemical deposition of metals and alloys. – Minsk, 2001. – P. 196.

5 Ramazan Erdem, Subbiyan Rajendran. Influence of Silver Loaded Antibacterial Agent on Knitted and Nonwoven Fabrics and Some Fabric Properties // Journal of Engineered Fibers and Fabrics. – 2016. – Vol. 11. – P. 38-46.

6 Zhang, Huiru Zou, Xinguo Liang, Jingjing Ma, Xiao Tang, Zhiyong Sun, Jinliang. Development of electroless silver plating on Para-aramid fibers and growth morphology of silver deposits // Journal of Applied Polymer Science. – 2012. – Vol. 124. – P. 3363-3371. DOI: <https://doi.org/10.1002/app.35332>

7 Xu D., Yang W.W., Jiang H.M., Fan H., Liu K.S. Electromagnetic interference shielding characteristics of a core layer-coated fabric with excellent hand-feel characteristics // Journal of Engineered Fibers and Fabrics Volume. – 2020. – Vol. 15. – P. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1177/1558925020959734>

8 Sakhbieva E.V., Ivanova S.N., Davletbaev I.G., Luchkin G.S., Nefediev E.S., Nizameev I.R., Voronina L.V., Kadyshcheva E. Metallized textile materials were obtained from synthetic and mixed fibers with high electrostatic characteristics for production of the medical clothing // Bulletin of the Technological University. – 2013. – Vol. 10. – P. 153-155

9 Cho Hangjin, Tabata Isao, Hisada Kenji, Hirogaki Kazumasa, Hori Teruo. Characterization of copper-plated conductive fibers after pretreatment with supercritical carbon dioxide and surface modification using Lyocell fiber // Textile Research Journal. – 2013. – Vol. 83, Issue 8. – P. 780-793. DOI: [10.1177/0040517512467130](https://doi.org/10.1177/0040517512467130)

10 Doshibekova A., Jurinskaya I., Tashpulatov S., Zhilibayeva R., Sarttarova L. Effect of technological parameters on the process of copper deposition on chemically and chemical-galvanically nickel-plated fibers Process of copper deposition // Research Journal of Textile and Apparel. Emerald Publishing Limited. – 2023. – Vol. 27. – P. 1560-6074. DOI: [10.1108/RJTA-03-2023-0037](https://doi.org/10.1108/RJTA-03-2023-0037)

Мыстың тұндыру процесіне технологиялық параметрлердің әсерін зерттеу

А.Б. Дошибекова¹, И.М. Джурина¹, С.Ш. Ташпулатов²

¹Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

²Ташкент тоқыма және жеңіл өнеркәсіп институты, Ташкент, Өзбекстан

Аңдатпа. Химиялық және химиялық гальваникалық никельмен қапталған акрил талшықтарына мыс жабындарын қолдану мүмкіндігі зерттелді. Құрамында мыс бар талшықтардың электрофизикалық, физика-механикалық қасиеттеріне электролит рН, оның құрамы, 1-ші және 2-ші катодтардағы ток күші, сонымен қатар металдану уақытының әсері зерттелді.

Құрамында әртүрлі мысбар электр өткізгіш талшықтар алынды. Мыстың құрамына байланысты талшықтардың электрлік қасиеттерінің өзгеру заңдылықтары белгіленді. Зерттеулер көрсеткендей, мыс мөлшері артқан сайын электр өткізгіштік, жабынның біркелкілігі және электрлік қасиеттерінің біркелкілігі (химиялық-гальваникалық никельмен қапталған талшықтар үшін) артады. Электрсіз никельмен қапталған талшықты мыс жалату кезінде мыс мөлшерінің жоғарылауына және мыс мөлшерінің өзгеру коэффициенті мен электрлік кедергінің төмендеуіне қарамастан, мыс жалату уақыты ұлғайған сайын электр кедергісінің өзгеру коэффициенті артады.

Түйін сөздер: электр өткізгіш химиялық талшықтар, электр өткізгіштік, электр кедергісі, электролит, электротұндыру.

Исследование влияния технологических параметров на процесс осаждения меди

А.Б. Дошибекова¹, И.М. Джурина¹, С.Ш. Ташпулатов²

¹Алматынський технологический университет, Алматы, Казахстан

²Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, Ташкент, Узбекистан

Аннотация. Изучена возможность нанесения медных покрытий на химически и химико-гальванически никелированные акриловые волокна. Изучено влияние рН электролита, его состава, силы тока на 1-м и 2-м катодах, а также времени металлизации на электрофизические, физико-механические свойства медьсодержащих волокон.

Получены электропроводящие волокна с различным содержанием меди. Установлены закономерности изменения электрических свойств волокон в зависимости от содержания меди.

Исследования показали, что с увеличением содержания меди увеличивается электропроводность, однородность покрытия и однородность электрофизических свойств (для химико-гальванически никелированного волокна). В случае меднения химически никелированного волокна коэффициент вариации электрического сопротивления увеличивается с увеличением времени меднения, несмотря на то, что содержание меди увеличивается, а коэффициент вариации содержания меди и электрического сопротивления уменьшается.

Ключевые слова: электропроводящие химические волокна, электропроводность, электрическое сопротивление, электролит, электроосаждение.

Information about authors:

A. Doshibekova – PhD student, Almaty Technological University, 100 Tole bi Almaty, Kazakhstan.

I. Jurinskaya – PhD, Associate Professor, Almaty University, 100 Tole bi Almaty, Kazakhstan.

S. Tashpulatov – Doctor of Technical Sciences, professor, Tashkent Institute of Textile and Light Industry, 5 Shakhzhakhana str., Tashkent, Uzbekistan.

А.Б. Дошибекова – докторант, Алматы технологиялық университеті, Төле би көш., 100, Алматы, Қазақстан.

И.М. Джуриная – PhD, доцент, Алматы технологиялық университеті, Төле би көш., 100, Алматы, Қазақстан.

С.Ш. Ташпулатов – д.т.н., профессор, Ташкент тоқыма және жеңіл өнеркәсіп институты, Шахджахана көш., 5, Ташкент, Өзбекстан.

А.Б. Дошибекова – докторант, Алматинский технологический университет, ул. Толе би, 100, Алматы, Казахстан.

И.М. Джуриная – PhD, доцент Алматинский технологический университет, ул. Толе би, 100, Алматы, Казахстан.

С.Ш. Ташпулатов – д.т.н., профессор, Ташкентский институт текстильной и легкой промышленности, ул. Шахджахана, 5, Ташкент, Узбекистан.

Бас редакторы: **Б.Б. Тогизбаева**

Компьютерде беттеген: **Ж.Қ. Оспан**

Авторларға арналған нұсқаулықтар,
жарияланым этикасы журнал сайтында берілген: <http://bultech.enu.kz>

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы.
Техникалық ғылымдар және технологиялар сериясы.
- 4(145)/2023 - Астана: ЕҰУ. - 312 б.
Шартты б.т. – 10.9. Таралымы - 15 дана.
Басуға қол қойылды: 28.12.2023 ж.

Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bultech.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы:
010008, Қазақстан Республикасы, Астана қ., Сәтбаев көшесі, 2.
Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті
Тел.: +7(71-72) 70-95-00 (ішкі 31-315)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында басылды