

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

3 (148)/ 2024

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, 2024

Astana, 2024

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, профессор, 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., Инчеон ұлттық университеті, Инчеон, 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

19.04.2021 ж. № 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 Hasegawa	Prof., Hachinohe Institute of Technology, Hachinohe, Japan
Akitoshi Mochizuki	Prof., University of Tokushima, Tokushima, Japan
Daniyar Bazarbayev	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 Kaliakin	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 Utepov	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, профессор, 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 Чул 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>

МАЗМҰНЫ/ CONTENT/ СОДЕРЖАНИЕ

Майра Озтюрк, Рафал Бурдзик

Жол жоспарының рельстердің контактілі-шаршау бояуларының зақымдалуына әсері.....

Mayra Ozturk, Rafal Burdzik

The effect of the track plan on the damage to rails by contact fatigue painting.....

Майра Озтюрк, Рафал Бурдзик

*Влияние плана пути на повреждаемость рельсов контактно-усталостными
выкрашиваниями.....*

9

Н.Д. Амиров, А.А. Тойшиева, Е.Н. Хван

*XX ғасырдың басындағы КСРО-дағы мәдени-демалыс ғимараттарының типологиясы –
жұмысшы клубы.....*

N.D. Amirov, A. A. Toishiyeva, Y.N. Khvan

*Workers' Club – a typology of cultural and leisure buildings in the USSR at the beginning of the
XX century.....*

Н.Д. Амиров, А.А. Тойшиева, Е.Н. Хван

Рабочий клуб – типология культурно-досуговых зданий СССР начала XX века.....

16

А.В. Мухаметжанова, Н.В. Деветьярова, И.Ю. Савушкина

Жаһандық логистикадағы жасанды интеллект.....

A.V. Mukhametzhanova, N.V. Devetyarova, I.Y. Savushkina

Artificial intelligence in global logistics.....

А.В. Мухаметжанова, Н.В. Деветьярова, И.Ю. Савушкина

Искусственный интеллект в глобальной логистике.....

34

А.А. Тойшиева, С.Ш.Садыкова, Л.А. Жаксылыкова, А.М. Саурбаева, А.С. Сералин

Білім беру мектебінің тұрақты архитектурасын қалыптастыру принциптері

(Бали аралындағы Индонезия мектебінің мысалында).....

A.A. Toishiyeva, S.Sh. Sadykova, L.A. Zhaksylykova, A.M. Saurbayeva, A.S. Seralin

*Principles for the formation of sustainable architecture of an educational school (using the example
of an Indonesian school on the island of Bali).....*

А.А. Тойшиева, С.Ш.Садыкова, Л.А. Жаксылыкова, А.М. Саурбаева, А.С. Сералин

*Принципы формирования устойчивой архитектуры образовательной школы (на примере
индонезийской школы на острове Бали).....*

51

У.Алтигенов, А.Беспаяев, А. Тулебекова, Е.Жаркенов

Көлемді блоктың еден плитасының беріктігін эксперименттік бағалау.....

U.Altigenov, A.Bespaev, A.Tulebekova, Ye.Zharkenov

Experimental evaluation of the strength of the floor slab of a volume block.....

У.Алтигенов, А.Беспаяев, А. Тулебекова, Е.Жаркенов

Экспериментальная оценка прочности плиты пола объемного блока.....

68

Л.Б. Аруова, Г.Б. Алдабергенова, А.Кадыров, Ж.И. Уркинбаева, О.Д. Сейтказинов <i>3D басып шығару арқылы қалдықтар негізінде бетонды қалыптау технологиясының ерекшеліктері.....</i>	
L.B. Aruova, G.B. Aldabergenova, A. Kadyrov, Zh.I. Urkinbayeva, O.D. Seitkazinov <i>Features of the technology for molding concrete based on waste using 3D printing.....</i>	
Л.Б. Аруова, Г.Б. Алдабергенова, А.Кадыров, Ж.И. Уркинбаева, О.Д. Сейтказинов <i>Особенности технологии формования бетонов на отходах методом 3D печати.....</i>	79
Г.Б. Алдабергенова, А.Е. Джексембаева, М.Д. Қонқанов, А.Б. Қадыров, Ж.С. Байдаулет <i>Құрылыс 3D басып шығару технологиясында қалдық негізіндегі модификациялық қоспаларды пайдалану.....</i>	
G.B. Aldabergenova, A. Jexembayeva, M.D. Konkanov, A.B. Kadyrov, Zh.S. Baydaulet <i>The use of waste-based modifying additives in construction 3D printing technology.....</i>	
Г.Б. Алдабергенова, А.Е. Джексембаева, М.Д. Қонқанов, А.Б. Қадыров, Ж.С. Байдаулет <i>Применение модифицирующих добавок на отходах в технологии строительной 3D печати.....</i>	97
Э.Н.Тудегенова, А.Б.Адранова, Ә.Ғалымжанқызы, Ә. Әлиасқар <i>Сызықтық және сызықтық емес қасиеттерді ескере отырып бұрғылау баганның тербелістерін модельдеу.....</i>	
E.N.Tulegenova, A.B.Adranova, A.Galymzhankyzy, A.Aliaskar <i>Modeling of oscillations of a drilling column taking into account linear and nonlinear properties ...</i>	
Э.Н.Тудегенова, А.Б.Адранова, Ә.Ғалымжанқызы, Ә. Әлиасқар <i>Моделирование колебаний буровой колонны с учетом линейных и нелинейных свойств.....</i>	114
А.Н.Баракбаев, Т.Т.Мусабаев, С.Э. Мамедов, А.М. Мулдағалиева <i>Концепция «справедливого города» Сьюзан Файнштейн на примере рекреационных зон города Астана.....</i>	
A.N Barakbayev, T.T Musabayev, S.E Mamedov, A.M Muldagaliyeva <i>The concept of «The Just City» by Susan Fainstein using the example of recreational areas of the city of Astana</i>	
А.Н Баракбаев, Т.Т Мусабаев, С.Э Мамедов, А.М. Мулдағалиева <i>Сьюзан Файнштейннің Астана қаласының рекреациялық аймақтарының мысалында «әділ қала» тұжырымдамасы.....</i>	125
А.А. Джомартов <i>Асылған нүктегі сымарканды параллельді роботты эксперименттік зерттеу.....</i>	
A.A. Jomartov <i>Experimental studies of a suspended point cable parallel robot.....</i>	
А.А. Джомартов <i>Экспериментальные исследования подвешенного точечного тросового параллельного робота....</i>	141
Б.Р. Исакулов, Ж.Б.Тукашев, Х.Т. Абдуллаев, А.Б. Исакулов <i>Күкіртті құрамалы арболиттің физикалық-механикалық және адгезиялық қасиеттеріне органикалық толтырғыштың әсерін зерттеу.....</i>	
B.R. Isakulov, Z.B. Tukashev, H.T. Abdullaev, A.B. Isakulov <i>Investigations of the influence of organic aggregate on physical mechanical and adhesion properties of sulfur-containing arbolite.....</i>	
Б.Р. Исакулов, Ж.Б.Тукашев, Х.Т. Абдуллаев, А.Б. Исакулов <i>Исследование влияния органического наполнителя на физико-механические и адгезионные свойства серосодержащего арболита.....</i>	154

Ж.А.Сергибаева, Г.Б.Абдилова, М.Е.Шаменов, Б.Б.Кабулов, А.Е.Еренгалиев <i>Престелген түйіршіктерді өндіру құрылғысын жетілдіру.....</i>	
Zh. Sergibaeva, G. Abdilova, M. Shamenov, B. Kabulov, A. Yerengaliev <i>The development of a device for the production of pressed granules.....</i>	
Ж.А.Сергибаева, Г.Б.Абдилова, М.Е. Шаменов, Б.Б. Кабулов, А.Е. Еренгалиев <i>Разработка устройства для производства прессованных гранул.....</i>	167
З.А. Исағалиева, Ә.С.Әбдіраман, Н.К.Меделбаева, Л.С.Алдашева, А.Ж.Алибек <i>Ақпараттық қауіпсіздіктің криптографиялық әдістеріне салыстырмалы талдау жүргізу</i>	
Z.A. Issagalieva, A.S.Abdiraman, N.K.Medelbayeva, L.S.Aldasheva, A.Zh. Alibek <i>Comparative analysis of cryptographic methods of information protection</i>	
З.А. Исағалиева, Ә.С.Әбдіраман, Н.К.Меделбаева, Л.С.Алдашева, А.Ж.Алибек <i>Сравнительный анализ криптографических методов защиты информации.....</i>	176
М.Е. Исаметова, Н.С.Сейітқазы, Н.Д. Сайдинбаева, Ғ.С. Әбілезова <i>Тау-кен техникасының жетегіне арналған дәстүрлі емес ілінісі бар берілісті математикалық және компьютерлік модельдеу</i>	
M.E. Isametova, N.S. Seiitkazy, N. D. Saidinbayeva, G.S.Abilezova <i>Mathematical and computer modeling of transmission with non-traditional engagement for mining equipment drive.....</i>	
М.Е. Исаметова, Н.С.Сейітқазы, Н.Д. Сайдинбаева, Ғ.С. Әбілезова <i>Математическое и компьютерное моделирование передачи с нетрадиционным зацеплением для привода горной техники.....</i>	189
Ә.С. Ибраим, Б.Н. Абсадықов <i>Автомобиль өнеркәсібіндегі 3D баспа.....</i>	
A.S. Ibrahim, B.N. Absadykov <i>3D-Printing in the automotive industry.....</i>	
А.С. Ибраим, Б.Н. Абсадықов <i>3D-Печать в автомобильной промышленности.....</i>	206
С.Нұрақов, Б.О.Бостанов, Г.М.Тілепиева, С.Т.Нұрсағатов, Ә.Б.Қалиев <i>Бүріккіш модификацияланған қабаттардың термиялық қуатты өңдеу режимдерін зерттеу</i>	
S. Nurakov, B.O. Bostanov, G.M. Tlepieveva, S.T. Nursagatov, A.B. Kaliyev <i>Investigation of the modes of thermal power treatment of sprayed modified layers.....</i>	
С.Нұрақов, Б.О.Бостанов, Г.М.Тілепиева, С.Т.Нұрсағатов, А.Б.Қалиев <i>Исследование режимов термосиловой обработки напыленных модифицированных слоев.....</i>	219
М.Е. Kalekeyeva, G. V. Muratbekova, Z.E. Konakbay, M.A. Gozhakhmetova, L.V. Vakhitova <i>Континуум роботтарын басқарудың және жобалаудың инновациялық әдістері.....</i>	
M.E. Kalekeyeva, G. V. Muratbekova, Z.E. Konakbay, M.A. Gozhakhmetova, L.V. Vakhitova <i>Innovative methods of control and design of continuum robots.....</i>	
М.Е. Калекеева, Г.В. Муратбекова, З.Е.Конакбай, М.А.Гожяхметова, Л.В.Вахитова <i>Инновационные методы управления и проектирования роботов континуум.....</i>	231
К.Т. Шеров, Д.И. Бердимуратова, Б. Мырзахмет, А.А. Сагитов, С.И. Мендалиева <i>Ауыл шаруашылығы машиналарының бөлшектерін жөндеуде аддитивті технология әдістерін қолдану мүмкіндігін зерттеу.....</i>	
K.T. Sherov, D.I. Berdimuratova, B. Myrzahmet, A.A. Sagitov, S.I. Mendalieva <i>Study of the possibility of using additive technology methods in the repair of agricultural machinery parts.....</i>	
К.Т.Шеров, Д.И.Бердімұратова, Б.Мырзахмет, А.А.Сагитов, С.И.Мендалиева <i>Исследование возможности использования методов аддитивной технологии при ремонте деталей сельскохозяйственной техники.....</i>	241

А.К. Каукаров, Г.Б. Бакыт, Б.У. Жаманбаев, Г.К.Саменов, А.Б.Забиева, Н.С. Сауханов <i>Иштен жану қозғалтқыштарының поршеньдік тығыздағыш жұмысының тозуға төзімділігі мен тиімділігін арттыру.....</i>	
A.K. Kaukarov, G.B. Bakyt, B.U. Zhamanbayev, G.K.Samenov, B.U. Zabayeva, N.S. Saukhanov <i>Improvement of wear resistance and efficiency of piston internal combustion engine.....</i>	
А.К. Каукаров, Г.Б. Бакыт, Б.У. Жаманбаев, Г.К.Саменов, А.Б.Забиева, Н.С. Сауханов <i>Повышение износостойкости и эффективности работы поршневого уплотнения двигателей внутреннего сгорания.....</i>	253
Н.С.Камзанов, Р.А.Козбагаров, Ахметова Ш.Д., Жунисбеков Б.Д., Т.С.Бекетов <i>Айналы жол төсемдерін жөндеуге арналған автоматтандырылған жол кескіші</i>	
N.S. Kamzanov, R.A. Kozbagarov, Sh D. Akhmetova, B.D.Zhunisbekov, T.S.Beketov <i>Automated road milling cutter for the repair of road surfaces with variable trackage.....</i>	
Н.С.Камзанов, Р.А.Козбагаров, Ахметова Ш.Д., Жунисбеков Б.Д., Т.С.Бекетов <i>Автоматизированная дорожная фреза для ремонта дорожных покрытий с переменной колеиностью</i>	265



IRSTI 73.41.15

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-9-15>

Article

The effect of the track plan on the damage to rails by contact fatigue crambling

Maira Ozturk^{ORCID}, Rafal Burdzik^{ORCID*}

Silesian University of Technology

(E-mail: *rafal.burdzik@polsl.pl)

Abstract. An analysis of foreign and domestic experience in improving traffic safety while extending the service life of rails and improving their interaction with the wheels of rolling stock shows that the working conditions of rails are much more difficult in curved sections of the track, especially in the outer thread, due to the intense impact of the ridges of the wheels of rolling stock on the lateral working

One of the reasons for the formation of contact fatigue stains on the lateral working surface of the rail head is the presence of tangential stresses that occur in the absence of perpendicular pressure of the wheel on the rail head. In addition, the movement of the wheels on the rails is accompanied by slippage, which appears due to the taper of the wheels and the occurrence of the wheel crest on the rail head. A typical case of the wheel crest running over the rail head is the movement of the wheel along curved sections of the track. In this case, the guide axle runs over one of the wheels on the rail head. As a result, there is a transverse slip of the wheel on the rolling surface and friction forces between the wheel and the rail are appropriately oriented to the axes. These processes, enhanced by an increase in dynamic action, cause more intense damage to the rail heads by defects in the curves, while defects mostly appear on the outer rail thread.

Keywords: defect, rail, rail crambling, rail head.

Received 18.09.2024. Revised 18.09.2024. Accepted 20.09.2024. Available online 30.09.2024

^{1*}The corresponding author

Introduction

As the radius of the curves decreases, the number of rails removed from the track due to defects and damage increases. In areas with small radius curves, especially in the presence of steep ascents and descents, the intensity of lateral and vertical wear is so high that there is no removal of rails due to contact fatigue defects [1, 2]. From this it can be concluded that the nature and level of damage to rails in curves are greatly influenced by operating conditions. Numerous observations on the roads confirm that with a decrease in the longitudinal slopes of the track, the number of rails removed from the track with excess wear of the head decreases, and the intensity of removal of severely defective rails with contact fatigue damage increases, i.e. two interdependent processes are observed.

An analysis of domestic rail operation experience indicates that external rails in curves with a radius of $R = 351-650$ m at longitudinal slopes are particularly intensively damaged by defects $11 -70/00 < 1 < +70/00$, and in curves with radii $R = 651-1000$ m at longitudinal slopes $-100/00 < 1 < +100/00$.

The wheels, when moving the carriage, have the ability to press the ridge against the side face of the rail head ("wag"). The probability of such a pinch increases dramatically when the crew enters the curve. Under certain, quite normal conditions, up to 50-100% of the wheels rolling along this thread can be pressed against the outer thread.

When pressing the wheels, having an average or more rolling value, with a ridge to the rail head, a so-called "single-point" contact occurs. As a result, the zone of vertical force influences on the head shifts from the middle band to the main working face of the rail head. The greater the wheel wear, the greater the offset. Therefore, in the outer thread of the curves, the probability of wheels contacting in the area of lateral rounding of the head is much higher than in straight sections, and even more so than in the inner thread of the curves. Accordingly, the probability of rail failures is distributed according to contact fatigue stains.

Despite the variety of rail operating conditions in the outer thread of the curves, the area of accumulation of the observed centers of origin of internal longitudinally inclined cracks (defect 11) is mainly located within the boundaries of 4-14 mm from the side face of the rail head.

In other words, this zone practically coincides with the zone of the so-called "single-point" contact of worn wheels with the head of an unworn rail. This zone, according to statistical data on failures of elements of the upper structure of the track in modern conditions, makes up 3/4 of all failure zones.

Therefore, when predicting the intensity of the formation of dents and discolorations, an analysis of defects 11 should be carried out taking into account the curvature of the line. The analysis of the track plan consists in the fact that it is necessary to assess the intensity of the total removal of rails according to defect 11 in sections with different radii and compare it with the length of these sections.

The methodology

The correlation between the curvature and the damage to the track can be quantified using the coefficient λ_{R1}^{11} , which is generally calculated using the formula:

$$\lambda_{Ri}^{11} = \frac{N_{Ri}^{11}}{L_{Ri}}, \quad (1)$$

where N_{Ri}^{11} – the proportion of 11 rails seized due to a defect in sections of the i-th radius;
 L_{Ri} – the proportion of curves of the i-th radius in this section.

Thus, using the obtained data and the results of structures and calculations, it is possible to more accurately predict work on replacing rails damaged by defect 11 on specific sections of the path. For example, if there is a track with non-hardened rails of the P65 type on the site with a load of 70 million tons.t km gross / km per hour 40% of curves with a radius of 450-650 m, it is necessary to plan to include in the per-kilometer reserve an additional 1 Rail per 3 km of track.

Studies confirming the presence of mutual correction between the depth of occurrence of internal longitudinal cracks, the intensity of formation of protrusions and the level of impact on the path of axial loads are devoted to the work of many authors [3]. In general, the higher the axial load value, the greater the depth of the VPT. The process of changing the geometric dimensions of the notches formed after the VPT enters the rail surface, depending on the level of impact of the maximum axial loads, requires research and an appropriate assessment of the impact of these changes on the durability of the rails. For this purpose, the actual materials and primary data on measurements of geometric dimensions (length and depth) of defects 11 formed on rails of type P65 of mass production at the time of their removal from the path along this damage when traveling along Ring paths of mobile composition with ROS=230, 250 and 270 kN. operating tonnage to harvest from 50 to 660 million tons. t gross. The sample consisted of 268 rails obtained at Ros=230 kN, 398 rails at Ros=250 kN, and 532 rails at Ros=270kn

Findings/Discussion

The main results of the statistical analysis of the geometry of defects 11 are shown in Table 1. It follows from the analysis of Table 1 that when the rail loading mode is weighted, the geometry of the defect changes, which consists in the fact that with an increase in the axial carriage load acting on the track, the length decreases and at the same time the depth of the gouges increases[4,5]. Such a mechanism for changing the geometric characteristics of the defect 11 indicates an increase in the force loading of the rail and, as a result, a decrease in the level of resistance to damage to the rails at high loads.

Table 1. Dependence of the geometric dimensions of the defect 11 on the axial ones

The indicator of the defect geometry	Unit of measurement	Values of indicators at axial load, кN		
		230	250	270
The maximum possible length	мм	194	163	159
Maximum possible depth	мм	8,3	8,1	7,6

The angle of inclination of the defect to	degree	4,5	2,6	5,9
---	--------	-----	-----	-----

For example, at $Ros = 230$ kN, the number of defects with a length of more than 150 mm is 20% of the total, whereas at $Ros = 270$ kN – 12%. Accordingly, the number of defects with a depth of more than 7 mm at an axial load of 230 kN is 20%, and when exposed to a load of 270 kN, this amount increases to 59%, and 12% of them have a maximum depth of 10 mm. Thus, the kinetics of changing the geometry of rail damage by defect 11 with an increase in axial load is characterized by an increase in the effect of "concentration" or "wedge", as a result of which the stress concentration in the area of rail damage increases, and, as a result, the resistance of rail steel to the development of contact fatigue cracks decreases[6,7].

To quantify the degree of resistance of rail steel to the development of defect 11, a classical physics problem was used to assess the resistance to movement of a rigid wedge in an ideal elastoplastic medium, which is not characterized by dissipative properties. Such a medium, as is known in mechanics, is classified as potential (conservative), for which the following ratio between normal pressure (stress) is valid and some potential function[8,9,10], which can be considered as the potential for the rate of development of the defect 11 and must be determined:

$$\sigma_y = \frac{\partial \varphi}{\partial t} \rho, \quad (2)$$

where ρ – the density of rail steel.

For the potential, we use the following Laplace equation, which is used for conservative media:

$$\frac{\partial^2 \varphi}{\partial x^2} + \frac{\partial^2 \varphi}{\partial y^2} = 0. \quad (3)$$

In the analysis under consideration, equation (4) is solved under the following boundary conditions: on the deformable surface ($-C: C$) of the rail head (wedge) along the axis OX at some point in time t at $-C X C$, the ratio takes place

$$\frac{\partial \varphi}{\partial n} + \frac{\partial \varphi}{\partial y} = V_0, \quad (4)$$

where n – normal to the surface of the defect 11;

On the remaining, undamaged chipped working surface of the rail head, the speed potential is zero ($\varphi=0$): $X < -C$ and $X > C$

If, along with the velocity potential, according to the wedge continuity equation, another harmonic and, therefore, necessarily conjugate function is introduced, then the problem of the "concentration" or "wedge" effect posed in the analysis under consideration can be solved in the

complex plane $Z=x+iy$ and in this plane the analytical function W , called in the theory of elasticity by a complex potential. At the same time:

$$W = \psi + i\chi \quad \frac{dW}{dz} = V_x - iV_y. \quad (5)$$

Conclusion

In the course of the study, the task was set to determine how much the GDP growth rate changes with an increase in the axial carriage load. The time of crack growth was considered from the moment of its detection to the formation of a chink and it was assumed that its growth occurs evenly as tonnage is passed.

Ozturk Maira – text writing, data collection, data sorting, trend analysis and technology application of additive technologies in the automotive industry

Rafal Burdzik – checking the analysis and data, summarizing, concluding, checking the integrity of the article.

References

1. Andrievsky S.M. Lateral wear of rails on curves // Tr. VNIIZHT. – 1961. – Issue 207. – 126 p.
2. Heyman X. Graphical definition of the center of friction. – St. Petersburg: Engineer, 1913. – No. 6-9.
3. Heyman X. The direction of railway carriages by rail gauge // Edited by prof. K.P. Korolev. – M.: States. transp. zh.-D. publishing house, 1957. – 416 p.
4. Birmann F. Neure Messung an Gleisen mit verschieden Unterschwellung // Eisenbahntechnische Rundschau. – 1957. – Juli. – S. 229-246.
5. Kaller J.J. The tangential force transmitted by two elastic bodies rolling over each other with pure crepage. Wear. – 1968. – Vol. 11.
6. Kozeychuk P.G. On the magnitude of the run when the axis runs in // J.-D. technique. – 1936. – № 18.
7. Kogan A.Ya. Vertical forces acting on the path // Tr. Vniizhta. – 1969. – Issue 402. – 206 p.
8. Kogan A.Ya. Dynamics of the track and its interaction with rolling stock. – M.: Transp., 1997. – 326 p.
9. Bittibayev SM., Mukasheva K.V. Investigation of the dynamics of railway rails // Tr. Mezhdunar. nauchno-praktich. conf. "KazNTU – education, science and production of the Republic of Kazakhstan". Almaty: KazNTU, 1999. pp. 303-305.
10. Kozyrev A.I. Permissible parameters of irregularities on the rail head. // The path and the wayside household. – 2002. – No. 1. – pp. 13-14.

Майра Озтюрк, Рафал Бурдик
Силезкий университет технологии

Жол жоспарының рельстердің контактілі-шаршау бояуларының зақымдалуына әсері

Аннотация. Анализ зарубежного и отечественного опыта повышения безопасности движения при одновременном продлении срока службы рельсов и улучшении их взаимодействия с колесами подвижного состава показывает, что условия эксплуатации рельсов значительно усложняются на криволинейных участках пути, особенно на внешней резьбе, из-за интенсивного воздействия гребней из колес подвижного состава на боковой рабочей поверхности

Одной из причин образования пятен контактной усталости на боковой рабочей поверхности головки рельса является наличие касательных напряжений, возникающих при отсутствии перпендикулярного давления колеса на головку рельса. Кроме того, движение колес по рельсам сопровождается проскальзыванием, которое появляется из-за конусности колес и появления гребня колеса на головке рельса. Типичным случаем, когда гребень колеса проходит по головке рельса, является движение экипажа по криволинейным участкам пути. В этом случае направляющая ось проходит по одному из колес на головке рельса. В результате происходит поперечное скольжение колеса по поверхности качения, и силы трения между колесом и рельсом соответствующим образом ориентируются по осям. Эти процессы, усиливаемые увеличением динамического воздействия, приводят к более интенсивному повреждению головок рельсов из-за дефектов 11 в изгибах, в то время как дефекты в основном проявляются на внешней поверхности рельсовой нити.

Ключевые слова: дефект, рельс, заедание рельса, головка рельса.

Майра Озтюрк, Рафал Бурдик
Силезия технологиялық университеті

Жол жоспарының рельстердің контактілі-шаршау бояуларының зақымдалуына әсері

Аңдатпа. Рельстердің қызмет ету мерзімін ұзарту және олардың жылжымалы құрамның доңғалақтарымен өзара әрекеттесуін жақсарту кезінде қозғалыс қауіпсіздігін жақсарту бойынша шетелдік және отандық тәжірибені талдау рельстердің жұмыс жағдайлары жолдың қисық учаскелерінде әлдеқайда қиын екенін көрсетеді., әсіресе сыртқы жіпте, жылжымалы құрам дөңгелектерінің жоталарының бүйірлік жұмыс механизміне қатты әсер етуіне байланысты.

Рельс басының бүйірлік жұмыс бетінде контактілі шаршау дақтарының пайда болу себептерінің бірі рельс басындағы дөңгелектің перпендикуляр қысымы болмаған кезде пайда болатын тангенциалды кернеулердің болуы болып табылады. Сонымен қатар, дөңгелектердің рельстердегі қозғалысы сырғанаумен бірге жүреді, бұл дөңгелектердің тарылуына және рельстің басындағы доңғалақ жотасының пайда болуына байланысты пайда болады. Рельстің басынан өтіп бара жатқан доңғалақ жотасының типтік жағдайы-бұл экипаждың жолдың қисық учаскелері бойымен қозғалуы. Бұл жағдайда бағыттаушы ось рельстің басындағы дөңгелектердің бірінің үстінен өтеді. Нәтижесінде дөңгелектің жылжымалы бетінде көлденең сырғуы байқа-

лады және доңғалақ пен рельс арасындағы үйкеліс күштері осьтерге сәйкес бағытталған. Динамикалық әрекеттің жоғарылауымен күшейтілген бұл процестер қисықтардағы 11 ақаулармен рельстердің бастарына үлкен зақым келтіреді, ал ақаулар негізінен рельстердің сыртқы жіптерінде пайда болады.

Түйін сөздер: ақау, рельс, рельстің бұзылуы, рельстің басы

Information about the authors:

Ozturk Maira – Associate professor, Candidate of technical sciences, corporate university Anex, Turkey

Rafal Burdzik – Silesian University of Technology, Poland, Professor

Өзтюрк Майра – Ассоциированный профессор, кандидат технических наук, Корпоративный университет Anex

Рафал Бурдзик – Силезский университет технологии, Польша, профессор

Өзтюрк Майра – қауымдастырылған профессор, техника ғылымдарының кандидаты, Anex Корпоративтік университеті

Рафал Бурдзик – Силезия технологиялық университеті, Польша, профессор



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 67.07.03

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-16-33>

Научная статья

Рабочий клуб – типология культурно-досуговых зданий СССР начала XX века

Н.Д. Амиров*^{id}, А.А. Тойшиева^{id}, Е.Н. Хван^{id}

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

(E-mail: Lazdani.it@gmail.com)

Аннотация. В статье раскрывается понятие “клуба”, его типология, особенности архитектуры как культурно-досугового и культурно-зрелищного сооружения. Повествуется историческая хронология зданий-предшественников рабочих клубов. Сопоставляются и сравниваются функции народных домов с буржуазными клубами западных стран. Выставляются параллели между историческими событиями, возникавшими в период начала XX века и архитектурой того периода. Отмечается становление архитектуры рабочих клубов и выявляются их исторические предпосылки на территории бывшего СССР, построенных в период с 20-х до 80-х гг. XX века. Определяются временной отрезок начала массового строительства и идейные вдохновители архитектуры клубных зданий. В работе анализируются рабочие клубы начала XX века в России, спроектированные К.С. Мельниковым. В ходе анализа объемно-пространственных решений архитектуры рабочих клубов рассматривается опыт их создания на примере четырех характерных объектов, построенных в период 1920-1930 годов, выполненных по проекту К.С. Мельникова, в которых проанализирована роль самого автора, повлиявшего на формирование сооружений нового культурно-зрелищного типа. При описании зданий рассматриваются экономические и идейные аспекты с учетом региональных особенностей. В данном исследовании анализируются общие архитектурные принципы и композиционные приемы, применявшиеся в проектах рабочих клубов К.С. Мельникова. На основе результатов синтеза и анализа составлена диаграмма, классифицирующая общие особенности описываемых клубов, их композиционные свойства и средства, организационные структуры. В результате дается краткий ретроспективный анализ, демонстрирующий предпосылки возникновения новой типологии культурно-досуговых зданий – рабочего клуба.

Ключевые слова: архитектура, рабочий клуб, досуг, композиция, типология, народный дом.

Поступила 01.02.2024. Доработана 11.09.2024. Одобрена 11.09.2024. Доступна онлайн 30.09.2024

^{1*}автор для корреспонденции

Введение

Понятие «клуб» и исторические аналоги.

Каждый исторический период развития человечества сопровождается организацией различных форм досуга. Досуг и «досуговая архитектура» [1] в социальной и культурной жизни общества являются важным аспектом в развитии цивилизованного государства.

Досуговая деятельность берет начало своего развития еще с древних времен. В своей научной работе Шляхтич Е.В. и Садыков Т.К. [2], изучив виды досуговой деятельности с древних времен до современности, выделяют модели досуговых зон, начиная с первобытного строя (зона костра, где собирались определенные племена) и заканчивая современным этапом развития общества и архитектуры (закрытый тип клубов, ТРЦ и т.д.), где определяется важность процесса общения и отдыха для человека.

Досуговые учреждения, предоставляющие возможности выбора различных форм деятельности, таких, как: творческая, деловая, развлекательная, интеллектуальная, культурная, зрелищная, оздоровительная и т.д., сопровождалась в процессе эволюции потребностью в организации новых вариантов объемно-пространственных и функционально-планировочных решений, в последующем повлиявших на формирование отдельной типологической ячейки. На каждом историческом этапе, в зависимости от социально-экономического, политического и культурного развития общества, формируется своя архитектурная модель здания досугового учреждения.

Так, Свечкарь Е.С. и Моргун Н.А. [3], исследуя эволюцию функционально-планировочной структуры досуговых учреждений, в своей работе «Эволюция функционально-планировочной структуры досуговых учреждений клубного типа» отмечают, что данные учреждения в античности «существовали без какой-то строгой функциональной направленности». Но с течением длительного времени данный вид сооружения претерпевает множество преобразований. Примером могут служить греческие гетерии или римские коллегии и термы. Далее, в средние века возникают клубы мейстерзингеров в Германии, камеры риториков в Европе и уже в новые времена – французские серкль (круги), здания дворянских собраний, сельские околицы в Царской России, которые в XVIII веке группируются под общим термином «клуб».

Термин «клуб» возник в Англии в XVIII веке. Клуб (от англ. club или club через нем. club) – место встречи людей с едиными интересами, зачастую официально объединённых в сообщество, организацию или ассоциацию [4]. В Англии клубами назывались собрания знакомых и друзей, которые проводили совместные застолья, трапезы, увеселительные мероприятия для местной буржуазии.

Одними из первых клубов принято считать, организованный сэром Уолтером Рэли учреждение в таверне Мермайд, под именем «Bread» и клуб «Boodle's», созданный Ричардом Смитом. Посетителями клуба «Bread» были такие известные люди, как Уильям Шекспир, Френсис Бомонт, Джон Флетчер и другие.

В работе «Особенности архитектурного решения досуговых центров» Устемирова Т.М. [5] отмечается, что первые учреждения пролетарских клубов с широкой программой проведения досуга создаются именно в Англии в XIX веке. Клубы включали воскресную

школу, библиотеку, спортивные и зрительные залы, а для развлечения создавались игровые залы – бильярдные и комнаты для карточных игр. Уже в 20-е годы XX века начинается планомерное построение сети рабочих клубов.

Народные дома и зарождение рабочих клубов

Родиной народных домов считается Англия, и первым был лондонский “Народный дворец” [6]. Довольно быстро такой тип здания распространился по европейским странам, как Франция, Германия, Австрия, Швеция и др.

На территории бывшего СССР первые клубные учреждения для народа - «народные дома» – возникли в 1880-1890-х гг., которые реализовывали в основном образовательные потребности. В них размещались библиотека с читальней, театрально-лекционные залы, воскресная школа, вечерние классы для взрослых, хор, чайная, книготорговая лавка [7].

Народные дома, строящиеся в период с 1890 года до революции 1917 года, стали прототипами рабочих клубов. Отличием народных домов от английских клубов, в первую очередь, стала ориентация их на образовательную сферу. Несмотря на то, что народные дома в конце 1880-х годов начинают формироваться и на территории Англии, первое упоминание о зданиях подобного типа в России приходится на 1882 год (город Томск), в которых ставились цели: развитие внешкольного дополнительного образования, борьба с неграмотностью, проведение просветительской лекционной работы, объединившие, таким образом, образовательную и досуговую деятельность.

Известные народные дома были построены на территории современных государств, таких, как Россия, Украина и Казахстан. В Казахстане активно работали, например, народный дом Костаная, построенный в 1886 году, и народный дом в Усть-Каменогорске, построенный в 1902 г. После 1905 года народные дома получают официальную поддержку муниципальных городских властей в целях удержать революционную активность населения, то есть организация «полезной деятельности» для деловой рабочей молодёжи, и противодействовать массовому пьянству. Являясь до начала революции плацдармом сдерживания революционных настроений, народные дома после революции 1905-1907 годов становятся, напротив, “главным проводником и школой коммунистического просвещения и воспитания масс, формой массовой творческой самодеятельности” не только в области искусства, но и в области политической, профессиональной и производственной деятельности [8].

Е.С. Духанина [9] в своей работе «Историография архитектуры дворцов культуры и клубных зданий Сибири (на примере Новосибирска, Томска, Омска)», рассматривая вопросы формирования сибирского клубного здания в исторической ретроспективе, пишет, что рабочие клубы на территории России свое массовое распространение получили в начале XX века. Рабочие клубы предназначались в основном для культурно-воспитательной работы с населением (в основном с рабочим классом), и чуть позднее были расширены его функции и контингент. Клубное здание включало в себя две основные функциональные зоны: зрелищная и культурно-развлекательная. Этот тип строения в XX веке стал одним из востребованных на территории СССР.

Особенностью послереволюционного периода 1917 года является тенденция использования и приспособления под клубы различных типов зданий: церкви, особняки,

усадыбы, производственные здания. Во-первых, причина состояла в том, что скромные размеры народных домов перестали удовлетворять потребности и не соответствовали амбициям индустриальных городов. Постановлением ЦК РКП(б) «О Пролеткультах» от 10 ноября 1920 года и письмом ЦК от 1 декабря 1920 года «Пролеткульт был организационно подчинён Наркомпросу», таким образом массовое развитие клубных учреждений началось в СССР с ноября 1920 года, когда декретом «Совнаркома» в системе «Наркомпроса РСФСР» был образован «Главполитпросвет» (Главный политико-просветительный комитет «Наркомпроса РСФСР») [10]. Во-вторых, создание рабочих клубов на этом этапе как одной из форм массовой культурной работы являлось «острым оружием» в борьбе с буржуазным влиянием [11, с.6]. Для этого в советском государстве были предоставлены все условия для широкого развития данного типа учреждений, которые тесно сотрудничали с государственными, общественными организациями (науки, культуры, искусства) и творческими союзами.

В послереволюционное время произошли значительные изменения в содержании и форме культурно-просветительской деятельности, что определило выбор наиболее подходящего типа – клубного комплекса с функциональным делением на четкие зоны [12]. В это время усиливается внимание к функциональной организации клубно-кружковой деятельности, что в итоге повлияло на формирование планировочной структуры здания рабочего клуба. Перед архитекторами стояли задачи разработать совершенно новые архитектурные образы общественных зданий, в частности, объектов социального и культурного назначения, что нашло отражение в выборе стилей и конструктивных решениях. Так, в 20-е годы прошлого столетия формируется новое направление в архитектуре – конструктивизм. основоположниками этого стиля являются такие архитекторы, как К. С. Мельников, И. А. Голосов, М. Я. Гинсбург, братья Веснины, Н. Я. Колли и другие. Если говорить об архитектуре рабочих клубов, то именно творчество Константина Мельникова сыграло огромную роль в становлении архитектуры клубов.

Таким образом, новизна данного исследования заключается в анализе архитектуры рабочих клубов и в определении поэтапных причин, предшествующих появлению клубных зданий в период с 1920 по 1930-е гг. XX столетия, а также в попытке классифицировать их в виде составленной авторской диаграммы «Общие черты и примененные методы в проектах рабочих клубов К. С. Мельникова» (Рисунок 6), отражающей общие композиционные свойства, приемы, особенности и архитектурную тектонику изучаемых объектов исследования. Целью исследования является изучение типологических особенностей рабочих клубов, их новаторские решения, определение предпосылок и этапов их развития. Исходя из цели исследования, определены следующие задачи:

- выделить общие композиционные признаки в исследуемых проектах и определить их место в период политических перемен и индустриализации страны;
- проанализировать подходы проектирования и роль личности К.С. Мельникова как архитектора, внесшего вклад в становление советских клубов;
- указать на исторические предпосылки создания новой типологии культурно-досуговых учреждений - рабочих клубов.

Методология

Методика данного исследования основывается на комплексном подходе к изучению архитектуры зданий рабочих клубов, построенных в период с 20-30-х г. XX века.

В качестве методов исследования использовались:

– анализ исторического опыта создания архитектуры рабочих клубов;
– исследовательский метод на основе изучения литературы и интернет-источников по данной тематике, что позволило научно обосновать «Классификацию архитектурной композиции клубных зданий» (Рисунок 1);

– сравнительный метод при изучении рабочих клубов, спроектированных К.С.Мельниковым, с помощью которого удалось выделить общие характеристики исследуемых объектов.

В результате исследования представлены основные положения и тенденции развития архитектуры рабочих клубов, выявлены характерные признаки и особенности их проектирования в изучаемый исторический период. Методически обобщается опыт проектирования рабочих клубов архитектора К.С. Мельникова как важный аспект в определении направления развития архитектуры клубных комплексов.

Результаты и обсуждения

Рабочие клубы периода 1920-1930-х годов и роль К.С. Мельникова

Краткая характеристика этапов развития советских клубов

Развитие архитектуры советского клуба можно поделить на три этапа:

1. Первый этап (1920-е годы) характеризуется бурным проведением архитектурных конкурсов на новые типы социалистического и крестьянского клуба, шли поиски создания нового архитектурного образа пролетарского клуба. Многие работы в этот период опережали свое время и были реализованы лишь десятилетия спустя.

2. Второй этап (1930-1950 годы) ознаменовался устоявшимися стилистическими признаками и официальной концепцией, задачами и видами деятельности клуба, что позволило сформировать техническое задание на проектирование клуба. Концепция была расписана в «Положении о профсоюзном клубе», принятом на III Всесоюзном съезде клубных работников (1939 г.). Основные «Положения» концепции действительно и по сей день. Однако в указанный исторический период они продолжают пересматриваться и уточняться, привнося изменения в архитектурно-планировочные решения клубов, такие, как: увеличение объемов клубной части, выстраивание пропорционального деления между зрелищной и клубной частью.

3. Третий этап (с середины 1945 г. до 1980-х годов) характеризуется ведущей ролью централизованного управления, типовым и унифицированным проектированием и нормативным регулированием клуба. Клубы стали принадлежностью территориальных структурных единиц [13, с. 116-120].

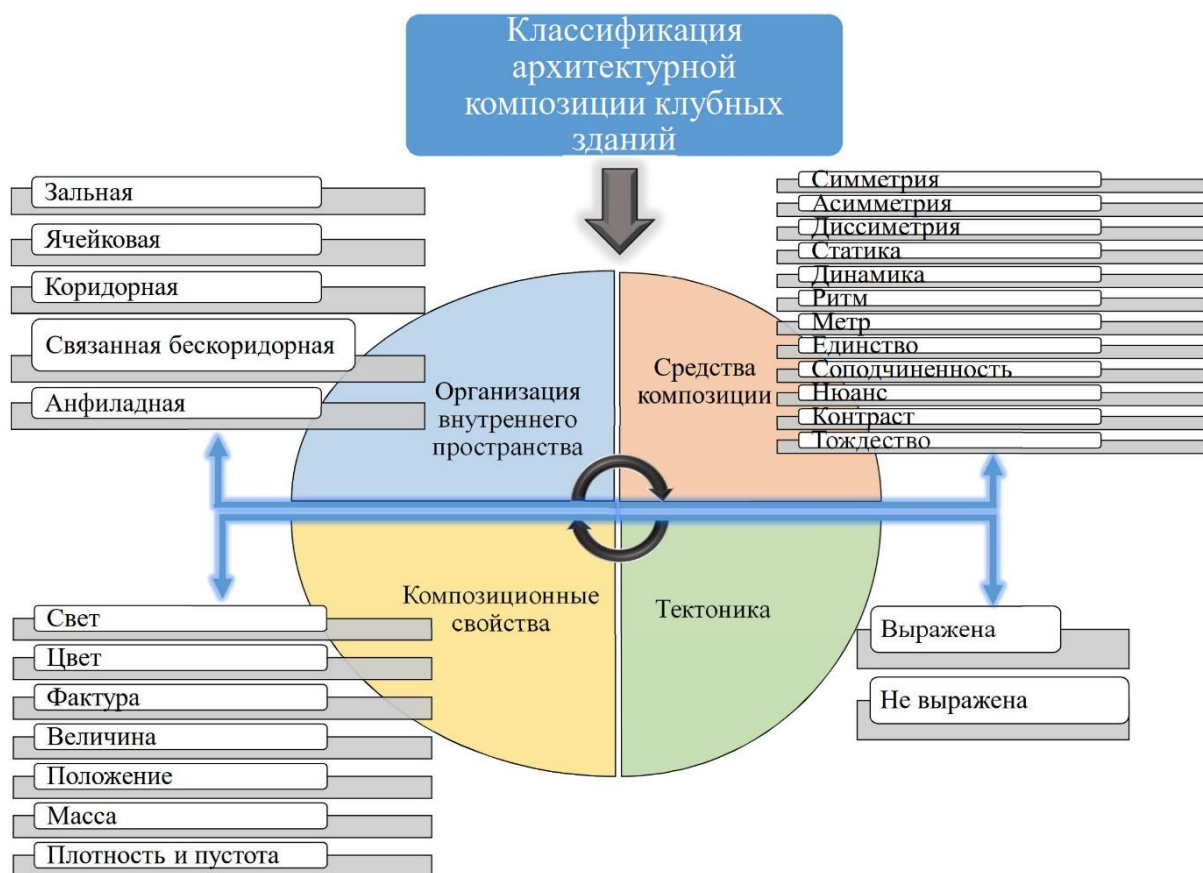


Рисунок 1. Классификация архитектурной композиции клубных зданий.
Авторская разработка Амирова Н.Д.

Началом массового и капитального строительства рабочих клубов можно считать 1926 год, поводом тому стали отчисления из культфондов в виде 10% процентов на улучшение быта рабочих. Благодаря этому, удалось накопить финансовую основу, за счет которой планировалось реализовать проектирование и строительство десятков клубов. Первый этап охарактеризовался выдвинутыми условиями профсоюзов с рекомендацией на разработку типового проекта клуба, но не были утверждены задачи на проектирование. Поэтому наиболее логичный прием был использован, такой, как – разделение здания на два основных объема, в одном из которых располагалась зрелищная часть, а в другом кружковая, соединялись они только коридором. Это повлияло на то, что зрелищная и кружковая зоны, представляя разные источники шума и функции, не могли функционировать одновременно, тем самым появились неудобства в организации клубной работы в целом. Такой метод функционального зонирования не мог существовать долго. Таким образом, основной задачей советских архитекторов было сформировать закономерности функциональных зон и особенностей клубного здания.

Идейные предпосылки, повлиявшие на архитектуру зданий рабочих клубов

К середине 1920-х годов А. М. Родченко, являясь одним из основателей нового на тот период направления “конструктивизм”, был уже немало известным и востребованным профессионалом во многих видах искусства. Кроме живописи, графики, скульптуры и фотографии, он сыграл большую роль в создании пространственных конструкций и декораций помещений, став одним из первых советских дизайнеров. Помимо практического творчества Родченко сочетал преподавание во ВХУТЕМАСе. В 1925 году он был приглашен к разработке советской экспозиции, выполненной по проекту К.С. Мельникова, для Международной выставки современных декоративных и промышленных искусств, проводившейся в Париже. Проект ознаменовался успехом на мировой арене. Центральным элементом интерьера советского павильона было оформление пространства для совместного самообразования рабочих и культурного времяпровождения городского пролетариата – рабочего клуба. По задумке автора основополагающими для проекта являлись не столько эстетические, сколько практические требования:

- во-первых, это экономия в использовании квадратуры пола клубной комнаты и экономия пространства, занимаемого вещами при максимальном его использовании;
- во-вторых, это легкость использования вещей и их стандартность, возможность при необходимости расширить или трансформировать пространство [14].

Элементы интерьера павильона были предельно функциональны, имели несколько вариантов раскладки, могли выполнять несколько прикладных задач, но были лишены декоративных деталей. Эти принципы в дальнейшем лягут в основу проектирования клубных зданий. Уже через год архитектор-художник К.С. Мельников приступает к проектированию рабочих клубов. Основной принцип клубной архитектуры Мельникова заключался в том, что здание по своей планировочной организации должно иметь залы, разные по своей площади, что позволит трансформировать их в аудитории-комнаты для работы кружков или же соединяться в огромный зрительный зал.

Проекты К.С. Мельникова

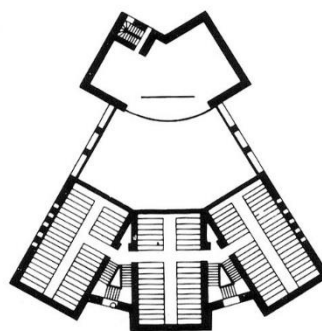
Клуб им. Русакова (клуб коммунальщиков). В 1927-1929 годы г. Москва был первым среди проектов клубных учреждений К. С. Мельникова, однако уже в первой работе по клубному строительству во многом отразились методы архитектора в работе над функционально-планировочными решениями заказанного объекта. Здесь впервые предлагаются идеи многозальных помещений, в которых могут происходить агитационные работы в разных направлениях, просматриваться кинофильмы, проигрываться спектакли и специальные показы.

В концепцию клуба положен треугольник, фигура, являющаяся самой естественной для акустических потребностей зальных помещений и дающая возможность внедрить ряд монументальных фигур. Клуб коммунальщиков часто называли “шестерёнкой” или “рупором на Стромынке”. В здании архитектор сумел расположить такие помещения, как библиотека, спортивный зал, кружковые аудитории и пять залов. С помощью передвижных и инновационных стен-щитов, которые раздвигаются при помощи специальных электромоторов, одна часть опускалась, а другая поднималась, объединяясь

с основным залом, тем самым образуя трёхъярусную зрительную часть. Результатом работы является метод объединения залов и их трансформация. Во-первых, это дало ощутимую экономию и, во-вторых, технологический процесс эксплуатации здания позволил большой зал трансформировать в систему залов-аудиторий. В архитектуре клуба как экспериментального и нового вида строительства, появились новые принципы архитектуры – “механической”, в соответствии с веяниями эпохи (Рисунки 2а, 2б).



а) Общий вид



б) План типового этажа

Рисунок 2. Общий вид и план типового этажа Клуба им. Русакова (архит. К. С. Мельников).

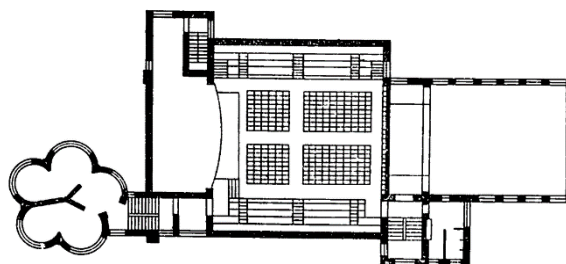
Следующий проект, построенный в 1929-1932 годы в Москве К.С. Мельниковым, - клуб кожевников “Буревестник”, который также является по своей планировочной организации зальным. Его еще часто в народе называют “клеткой попугая”. Но тут данное сравнение вытекает не за счет выдумки архитектора или его фантазии, а из-за “строгого” решения генерального плана участка. В самой “клетке” размещена кружковая часть клуба, а форма построена на сугубо рациональном отражении плана. Здесь, как и в “клубе Русакова”, применены передвижные стены, где партерная часть может добавить зрительные места, а стена между спортивным и зрительным залом трансформируется, делая спортивный зал сценой для спектаклей.

В этом проекте Мельников определяет важные вопросы изменения прошлых архитектурных традиций в постройке зданий зрелищного типа. Уменьшение площади партера в зрительном зале и фойе позволило разместить бассейн для плавания, такой подход в проектировании клуба позволил внедрить дополнительные зоны для массовой работы. В клубе «Буревестник» помещения для кружковой работы раскинулись на четыре этажа стеклянной цилиндрической розетки (клетки попугая). Пятиконечная планировочная форма розетки позволяет делить помещения внутри корпуса в зависимости от размера и количества кружков. И здесь, как в основном объеме, тяготеют идеи “механической архитектуры”, где площадь каждого этажа цилиндрической розетки, в зависимости от нужд клуба, может разделяться на три, четыре или даже 5 комнат, обслуживаемых без коридоров. Стены данных помещений могут быть стандартного

размера, то есть в проекте прослеживаются идеи унификации элементов здания. Это условие обеспечивает возможность их разнообразного устройства: они могут быть постоянными, переносными или двигающимися. Пролеты зрительного зала по величине около 20 м и перекрываются фермами, наружные стены штукатурятся, местами остаются в кирпиче (правильные формы под затирку) (Рисунки 3а, 3б).



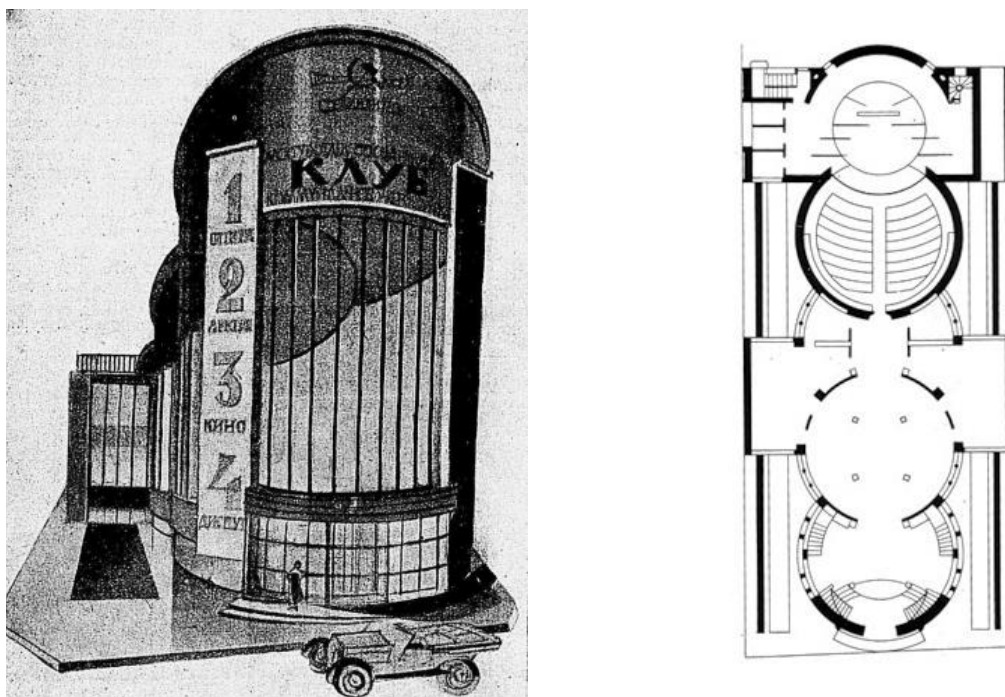
а) Общий вид



б) План типового этажа

Рисунок 3. Общий вид и план Клуба кожевников “Буревестник” (архит. К.С. Мельников)

В качестве примера приводим конкурсный нереализованный проект клуба профсоюзов коммунальщиков имени Зуева 1927 г. города Москвы архит. К.С. Мельникова. В этот период все проекты отбирались на конкурсной основе. Кроме того, в это время впервые архитектором К. С. Мельниковым была предложена “механическая система зала”, что было еще дискуссионной новинкой, вокруг которой разворачивались споры. К. Мельников в конкурсном проекте клуба уделил больше внимание разработке и использованию принципов, которые позволили рационализировать систему и разработать такие конструктивные элементы, которые можно было привести к стандартному типу и унифицировать. За основу композиции был взят цилиндр, форма которого обеспечивает наиболее рациональное распределение конструктивных частей перекрытия, который в то же время является главным элементом объекта. Концепция клуба, предложенная Мельниковым, состояла из пяти цилиндров, постепенно понижающихся вдоль главной оси. Линия понижения определена зрительным лучом. В замыкающем, на заднем плане, цилиндре помещалась сцена. Последующий цилиндр включает партер зрительного зала на уровне первого этажа. Третий цилиндр имеет аудиторию на уровне второго этажа; четвертый цилиндр – такую же аудиторию на уровне третьего этажа; пятый – на уровне четвертого. Аудитории трех последних объемов соединяются между собой зрительным залом с помощью трансформирующихся стен – жесткорамных, раскрывающихся на подвижных роликах сферических граней цилиндров. Вместимость каждой из четырех аудиторий-залов рассчитана на 200 мест. Таким образом, при раскрытых стенах зрительный зал клуба вмещал 800 мест (Рисунки 4а, 4б).



а) Перспективный вид конкурсного проекта б) План типового этажа конкурсного варианта

Рисунок 4. Чертежи конкурсного проекта Клуба профсоюзов коммунальщиков имени Зуева (архит. К.С. Мельников)

Клуб им. Фрунзе 1927-1929 годы у села Потылиха (архит. К.С. Мельников). Клуб расположен на территории химического завода им. т. Фрунзе. Большая равнина, расположенная по правому берегу Москва-реки (близ села Потылиха и железнодорожной линии), на которой должен был строиться клуб, с малой кубатурой здания (7000 куб. метров) определили основные условия для архитектора и выбор метода проектирования клуба в строгих объемно-пространственных формах. Малый строительный объем здания привел к необходимости сузить площадь постройки, тем самым давая максимально вытянуть здание вверх. Уменьшение же площади постройки, в свою очередь, определило квадратную форму плана. По этой причине на главном и боковых фасадах здания наложены массивные конструктивные плоскости. Под главным фасадом задумана терраса с открытым видом на Москва-реку. Архитектурно-художественные элементы на боковых фасадах в виде решетчатых белых вертикалей композиционно обозначают лестничные клетки, соединяющие внутренние помещения здания. На первом полуэтаже здания расположены следующие основные помещения: вестибюль, фойе, гардеробная, буфет и курительные; на первом этаже – сцена со вспомогательными помещениями и часть зрительного зала (размещенная на разных уровнях) с непосредственным выходом на террасу-балкон. Конструкция всего зрительного зала (вместимость около 400 человек) спроектирована в трех плоскостях. Черные «квадраты», врезанные в здание

по трем направлениям, являются зрительными местами (Рисунок 5). На втором этаже расположена венчающая верхняя часть зрительного зала и платформы-террасы, идущие по наружным стенам здания. На третьем этаже, над двумя последними платформами зрительного зала, находятся помещения библиотеки с читальней и подсобные помещения. Особенной чертой проекта является членение партера зрительного зала, который расположился в трех плоскостях, и был поделен на три независимых помещения, путем устройства подъемных стен между первой и второй платформами зрительного зала.

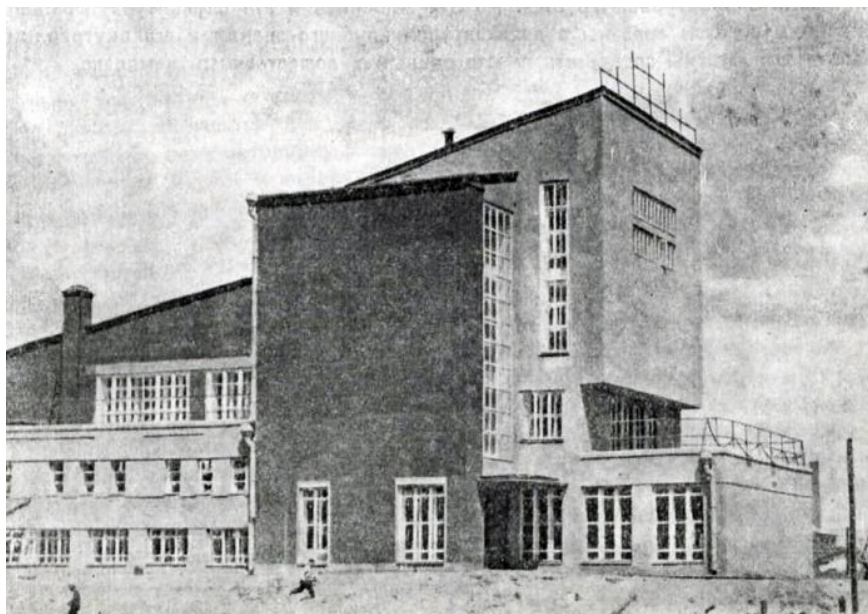


Рисунок 5. Общий вид Клуба им. Фрунзе (архит. К.С. Мельников)

В работе Яскевича В.В. [15] упоминается резкое развитие системы поточной организации производства как характерная историческая черта начала 20-го века, которая автоматизировала и оптимизировала многие процессы. В обществе популяризовались убеждения об огромных возможностях машин и их перспективах. Как показывает диаграмма “Общие черты и примененные методы в проектах рабочих клубов К.С. Мельникова” (Рисунок 6), перед архитектором в процессе определения функциональных особенностей здания клуба возник вопрос о практически полном нарушении принципов типизации строительства и технического задания заказчика за счет принципов рационализации. Проекты рабочих клубов, созданных Константином Мельниковым, явились результатом длительной работы над экономичным использованием площади. Именно благодаря такому подходу в проектировании и принципиальной установке его проекты получили резкое отличие от других проектов рабочих клубов. При тщательном изучении всех вышерассмотренных проектов, реализовавших принципы рационализации, приходим неизбежно к утверждению, что опыт проектирования и строительства клубов Мельникова явился основной базой для дальнейшего развития архитектуры и развертывания клубного строительства.

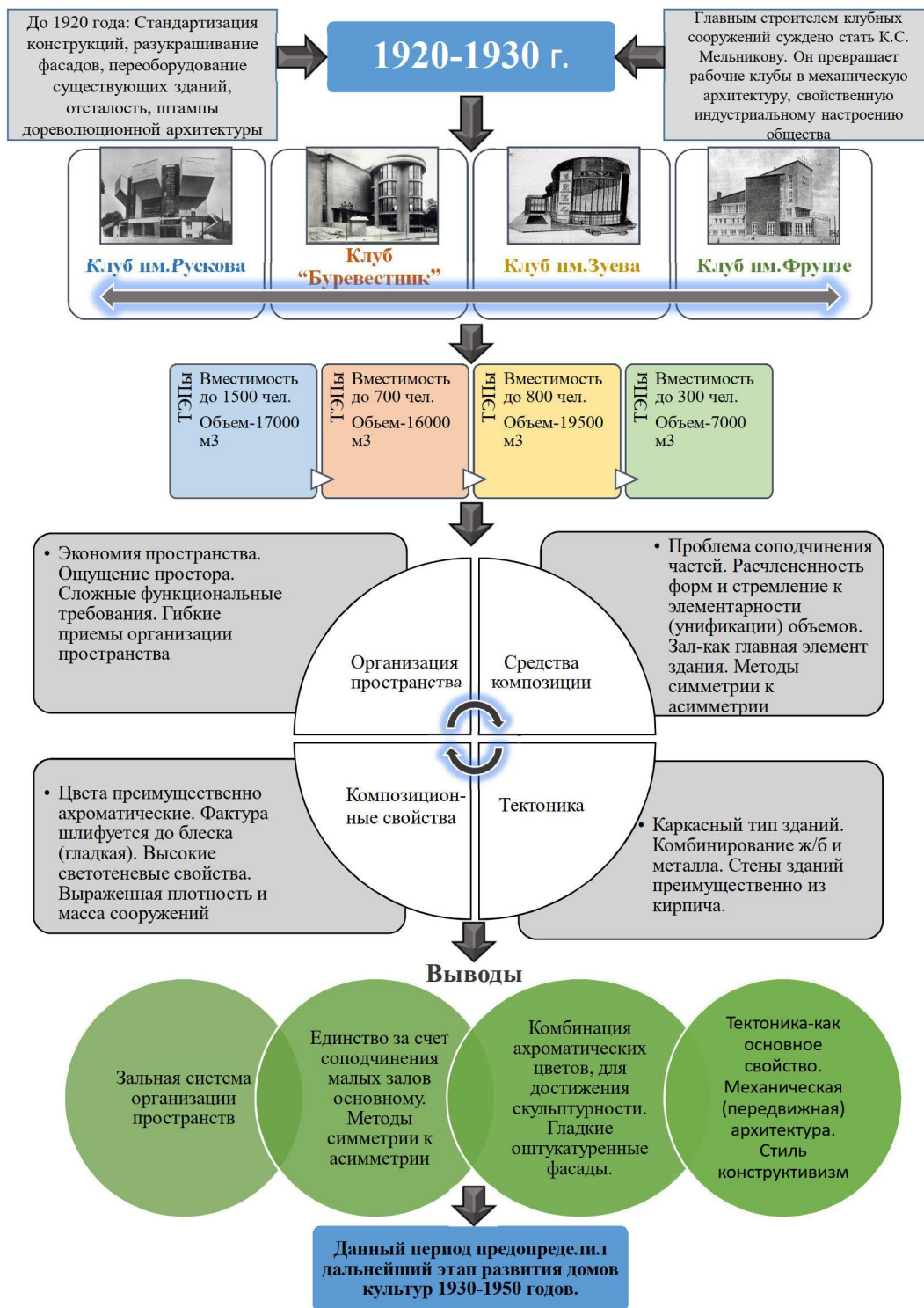


Рисунок 6. «Общие черты и примененные методы в проектах рабочих клубов К.С. Мельникова»
Авторская разработка Амирова Н.Д.

Заключение

В результате анализа типологических особенностей рабочих клубов, изучения их исторической значимости, определения предпосылок и этапов развития удалось проанализировать:

- общие композиционные признаки в исследуемых проектах;
- проанализировать подходы проектирования и роль личности К.С. Мельникова;
- классифицировать исторические предпосылки нового типа культурно-досугового учреждения.

Это дает возможность сделать вывод, что архитектура рабочих клубов отличалась исключительной новизной как с типологической точки зрения, так и по архитектурно-планировочным, конструктивным решениям в целом в практике советской архитектуры. Клубная архитектура опережала свое время и предопределила дальнейшие тенденции формирования культурно-досуговых и культурно-зрелищных учреждений.

Определен начальный этап развития архитектуры клубных зданий, построенных в период с 1920 по 1980-е гг. XX века, характеризующийся активным поиском нового архитектурного типа послереволюционного клуба

Также в ходе исследования выделены общие композиционные, планировочные и конструктивные признаки в исследуемых проектах К.С. Мельникова, для которых характерны:

- организация зального пространства как главный принцип при проектировании рабочих клубов;
- воплощение новой инновационной идеи – трансформирующегося внутреннего пространства, когда с помощью передвижных перегородок создаются новые планировочные зоны, что положительно влияет на процесс эксплуатации объекта;
- применение принципа рационального использования площади здания с учетом функциональных потребностей пользователей;
- воплощение единства и соподчинённости композиционных элементов фасада;
- предложение смелых и инновационных архитектурно-конструктивных идей в проектах – применение железобетонных конструкций, стекла, металла, которые легли в основу нового архитектурного стиля «конструктивизм» и определили дальнейшее развитие архитектуры.

Проанализирована роль личности К.С. Мельникова, его рационалистические подходы, которые сформировали особую архитектуру – «архитектуру механическую», столь свойственную эпохе индустриализации.

Таким образом, одной из главных задач культурной революции в Советском Союзе являлось поднятие индустриальной культуры на основе тесного взаимодействия с искусством и архитектурой.

Вклад авторов

Амиров Н.Д. – концепция, дизайн, методология, сбор и анализ данных, написание текста, утверждение окончательной версии, интерпретация результатов работы.

Тойшиева А.А. – написание текста, анализ, критический обзор содержания.

Хван Е.Н. – написание текста, редактирование, критический обзор содержания, утверждение окончательной версии.

Список литературы

1. Свечкарь Е.С. Развитие архитектуры молодежных досуговых учреждений за рубежом // Творчество и современность. - 2022, №3(18), С.-21-26. DOI: <https://doi.org/10.37909/2542-1352-2022-3-3003>
2. Шляхтич Е.В., Садыков Т.К. Принципы формирования досуговых зон // Наука, образование и культура. – 2020, №2(46), С. – 70-72. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42535003>
3. Свечкарь Е.С., Моргун Н.А. Эволюция функционально-планировочной структуры досуговых учреждений клубного типа // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2022. №3. С. 34-48. DOI: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-3-34-48>
4. Клуб // академик: [Сайт]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/646491> (дата обращения 12.11.2023).
5. Устемиров Т.М. Особенности архитектурного решения досуговых центров // Вестник науки и образования. – 2021. №9-2(112). С. 57-60. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46436522>
6. Попов Д.И. Народные дома в России в начале XX в. // Вестник Омского университета. – 2019. №3(23). С. 97-105. DOI: <https://doi.org/10.25513/2312-1300.2019.3.97-105>
7. Большая советская энциклопедия: [В 30 т.]/ Гл. ред. А. М. Прохоров. Издание 3-е. — М.: Сов. энцикл., 1969-1978 [Сайт]. URL: <https://litlife.club/books/106264/read?page=472> (дата обращения 15.11.2023).
8. Иванов А. Вновь о принципах клубной работы // Рабочий клуб. 1924, № 5. С. 4.
9. Духанина Е.С. Историография архитектуры дворцов культуры и клубных зданий Сибири (на примере Новосибирска, Томска, Омска) // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2022. Том 24, №3. С. 92-98. DOI: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-3-92-98>
10. Большая советская энциклопедия: [В 30 т.]/ Гл. ред. А. М. Прохоров. Издание 3-е. — М.: Сов. энцикл., 1969-1978 [Сайт]. URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/010/815.htm> (дата обращения 20.11.2023).
11. Плетнев В.М. Рабочий клуб. Принципы и методы работы. – Москва: М.: Всероссийский пролеткульт. – 1923. – 158 с.
12. Никитина Т.А. Дворцы советского периода // Материалы IV международной научной конференции. Технические науки в России и за рубежом. – 2015, С.- 82-91. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23358620>
13. Змеул С. Г., Маханько Б. А. Архитектурная типология зданий и сооружений: учебник для вузов. – Москва: Архитектура-С, 2004. — 240 с., ил. — ISBN 5-9647-0050-0
14. Попова Ю. Пролетарский эксклюзив. Электронная версия журнала «Эксперт». [Сайт] 2011. – URL: <https://web.archive.org/web/20211227152417/https://expert.ru/expert/2011/42/proletarskij-eksklyuziv/> (дата обращения 07.01.2024).
15. Яскевич В. (2023). Генезис автоматизации архитектурно-строительного проектирования// Вестник ЕНУ им.Л.Н.Гумилева. Серия: Технические науки и технологии. 144(3), 60–73 извлечено от: <https://bultech.enu.kz/index.php/main/article/view/461>. DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-144-3-60-73

Н.Д. Амиров, А.А. Тойшиева, Е.Н. Хван

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

**XX ғасырдың басындағы КСРО-дағы мәдени-демалыс ғимараттарының
типологиясы – жұмысшы клубы**

Аңдатпа. Мақалада мәдени-демалыс және мәдени-ойын-сауық ғимараттарының архитектура-сының типологиялық түрі ретінде "клуб" ұғымы ашылады. Бұрынғы жұмысшы клубтары ғимараттарының тарихи хронологиясы баяндалады. Халық үйлері мен Батыс елдерінің буржуазиялық клубтарының функциялары салыстырылып, өзара салғастырылады. XX ғасырдың басында орын алған тарихи оқиғалардың сол кезеңнің сәулетіне әсер етуі жазылады. Жұмысшы клубтарының архитектурасының қалыптасуы және олардың бұрынғы КСРО аумағында XX ғасырдың 20-80 жылдар аралығында салынған тарихи алғышарттары айқындалады. Жаппай құрылыстың басталуының кезеңі және "жаңа архитектураның" идеялық шабыттандырушылары анықталады. Жұмыста К.С. Мельников жобалаған Ресейдегі XX ғасырдың басындағы жұмысшы клубтары талданады. Талдау барысында К.С. Мельниковтың жобасы бойынша орындалған 1920-1930 жылдардағы төрт жұмысшы клубтарының архитектурасын құру тәжірибесі қарастырылады және онда жаңа мәдени-ойын-сауық типтегі құрылыстардың қалыптасуына әсер еткен автордың рөлі талданады. Ғимараттарды сипаттау кезінде экономикалық және идеялық аспектілер, сондай-ақ аумақтық контексттер қозғалады. Бұл зерттеуде К.С. Мельниковтың жұмысшы клубтары жобаларында қолданылған жалпы архитектуралық принциптер мен композициялық әдістер талданады. Синтез және талдау нәтижелері негізінде сипатталған клубтардың жалпы ерекшеліктерін, олардың композициялық қасиеттері мен құралдарын, ұйымдастырушылық құрылымдарын жіктейтін диаграмма жасалды. Нәтижесінде мәдени-демалыс ғимараттарының жаңа типологиясы – жұмысшылар клубының пайда болуының алғышарттарын көрсететін қысқаша ретроспективті талдау беріледі.

Түйін сөздер: сәулет, жұмысшылар клубы, демалыс, композиция, типология, халық үйі.

N.D. Amirov, A.A. Toishiyeva, Y.N. Khvan

L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan

**Workers' Club - a typology of cultural and leisure buildings in the USSR at the beginning
of the XX century**

Abstract. The article reveals the concept of "club", its typology, features of architecture as a cultural, leisure and entertainment structure. The predecessors of workers' clubs are described by historical chronology. The functions of folk houses are compared with bourgeois clubs in Western countries. Parallels are exposed between historical events in the early of the 20th century with the architecture of that period. The formation of the architecture of workers' clubs is noted and their historical background on the territory of the former USSR built from 20s to the 80s is revealed. The time period for the beginning of mass construction and the ideological inspirers of the architecture of club buildings are determined.

In the article analyzes workers' clubs of the early 20th century in Russia designed by K.S. Melnikov. In the course of analyzing the three-dimensional solutions of the architecture of workers' clubs, the experience of their creation is considered, using the example of four characteristic objects built in the period 1920-1930, designed by K.S. Melnikov, in which the role of the author himself, who influenced the formation of structures of a new cultural and spectacular type, is analyzed. When describing buildings, economic and ideological aspects are considered, with regional characteristics. This research analyzes main architectural principles and compositional techniques used in the projects of workers' clubs by K.S. Melnikova. Based on the results of synthesis and analysis, a diagram has been compiled classifying the general features of the described clubs, their compositional properties and means, and organizational structures. As a result, a short retrospective analysis is given, demonstrating the prerequisites of a new typology of cultural and leisure buildings – a workers' club.

Key words: architecture, workers' club, leisure, composition, typology, folk house.

References

1. Svechkar E.S. Development of architecture of youth leisure centers in foreign countries // Creativity and modernity. - 2022, No. 3(18), pp.-21-26. DOI: <https://doi.org/10.37909/2542-1352-2022-3-3003>
2. Shlyakhtich E.V. and Sadykov T.K. Principles of creating leisure zones // Science, education and culture. - 2020, No 2(46), pp. - 70-72. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=42535003>
3. Svechkar E.S., Morgun N.A. Evolution of the functional-planning structure of club-type leisure buildings // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. - 2022, No 3, pp.- 34-48. DOI: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-3-34-48>
4. Club // academician: [Website]. URL: <https://dic.academic.ru/dic.nsf/ruwiki/646491> (accessed 12.11.2023).
5. Ustemirov T.M. Features of architectural solutions for leisure centers // Bulletin of Science and Education. - 2021, No 9-2(112), pp. - 57-60. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=46436522>
6. Popov D.I. Folk houses in Russia in the beginning of the 20th century. // Bulletin of Omsk University. - 2019, No 3(23), pp.- 97-105. DOI: <https://doi.org/10.25513/2312-1300.2019.3.97-105>
7. Great Soviet Encyclopedia: [in 30 volumes]/ ch. ed. Prokhorov A. M. 3rd ed. — M.: Soviet Encyclopedia, 1969-1978 [Website]. URL: <https://litlife.club/books/106264/read?page=472> (accessed 15.11.2023)
8. Ivanov A. Again about the principles of club work // Workers' Club. 1924, No. 5. P. 4.
9. Dukhanina E.S. Historiography of the architecture of palaces of culture and club buildings in Siberia (on the example of Novosibirsk, Tomsk, Omsk) // Bulletin of the Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. - 2022, Volume 24, No. 3, pp.- 92-98. DOI: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2022-24-3-92-98>
10. Great Soviet Encyclopedia: [in 30 volumes]/ ch. ed. Prokhorov A. M. 3rd ed. — M.: Soviet Encyclopedia, 1969-1978 [Website]. URL: <https://www.booksite.ru/fulltext/1/001/008/010/815.htm> (accessed 20.11.2023)
11. Pletnev V.M. Workers' club. Principles and methods of work. - M.: All-Russian Proletkult. - 1923. - 158 p.
12. Nikitina T.A. Palaces of the Soviet period // Materials of the IV international scientific conference. Technical sciences in Russia and abroad. - 2015, pp. - 82-91. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=23358620>

13. S.G. Zmeul, B.A. Makhanko. Architectural typology of buildings and structures: Textbook for universities. — Moscow: Architecture-S, 2004. — 240 p., ill. — ISBN 5-9647-0050-0

14. Yuliya Popova. Proletarian exclusive. Electronic version of the magazine "Expert". [Website] 2011. - URL: <https://web.archive.org/web/20211227152417/https://expert.ru/expert/2011/42/proletarskij-eksklyuziv/> (accessed 07.01.2024)

15. Genesis of automation of architectural and construction design. BULLETIN OF THE EURASIAN NATIONAL UNIVERSITY NAMED AFTER L.N. GUMILEV SERIES: TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGIES, 144(3), 60–73 extracted from: <https://bultech.enu.kz/index.php/main/article/view/461>. DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2023-144-3-60-73

Сведения об авторах:

Н.Д. Амиров – магистрант 1 курса, архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, г. Астана, Казахстан. Архитектор, ТОО «Kaz Net Project», г. Астана, Казахстан, телефон: +77477323163, E-mail: Lazdani.it@gmail.com.

А.А.Тойшиева – почетный архитектор РК, и.о.доцента, кафедры «Архитектура», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, г. Астана, Казахстан, телефон: +77772571104, E-mail: almagul7@inbox.ru.

Е.Н.Хван – кандидат архитектуры, и.о. доцента, кафедры «Архитектура», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, г. Астана, Казахстан, телефон: +77014098242, E-mail: Khvan-72@mail.ru

Авторлар туралы мәліметтер:

Амиров Н.Д. – магистрант 1 курса, архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, ул. Сатпаева 2, Астана, Казахстан. Архитектор, ТОО «Kaz Net Project», Астана, Казахстан, телефон: +77477323163, E-mail: Lazdani.it@gmail.com.

Тойшиева А.А. – почетный архитектор Республики Казахстан, старший преподаватель кафедры архитектуры архитектурно-строительного факультета Евразийского национального университета им.Л. Н.Гумилева, и. о. доцента, улица Сатпаева 2, Астана, Казахстан, телефон: +77772571104, E-mail: almagul7@inbox.ru.

Хван Е.Н. – кандидат архитектуры, исполняющий обязанности доцента кафедры архитектуры, архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева 2, Астана, Казахстан, телефон: +77014098242, E-mail: Khvan-72@mail.ru

Н.Д.Амиров – 1 курс магистранты, сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев 2 көшесі, Астана, Қазақстан. Сәулетші, «Kaz Net Project» ЖШС, Астана, Қазақстан, телефон: +77477323163, E-mail: Lazdani.it@gmail.com.

А.А.Тойшиева – Қазақстан Республикасының құрметті сәулетшісі, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті Сәулет-құрылыс факультеті Сәулет кафедрасының аға оқытушысы, доцент м.а., Сәтпаев 2 көшесі, Астана, Қазақстан., телефон: +77772571104, E-mail: almagul7@inbox.ru.

Е.Н.Хван – архитектура кандидаты, Сәулет кафедрасының доцентінің міндетін атқарушы, сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев 2 көшесі, Астана, Қазақстан, телефон: +77014098242, E-mail: Khvan-72@mail.ru

N.D.Amirov – 1st year Master’s student, School of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpaev str. 2, Astana, Kazakhstan. Architect in Kaz Net Project LLP, Astana, Kazakhstan, phone: +77477323163, E-mail Lazdani.it@gmail.com.

A.A.Toishiyeva – Architect, Acting Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University (ENU), Satpaev str. 2, Astana, Kazakhstan, phone: +77772571104, E-mail: almagul7@inbox.ru

Y.N.Khvan – Candidate of Architecture, Acting Associate Professor of the Department of Architecture, Faculty of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University (ENU), Satpaev str. 2, Astana, Kazakhstan, phone: +77014098242, E-mail: Khvan-72@mail.ru



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 73.47.10

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-34-50>

Научная статья

Искусственный интеллект в глобальной логистике

А.В.Мухаметжанова*¹, Н.В.Деветьярова², И.Ю.Савушкина¹

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

²Международный транспортно-гуманитарный университет, Алматы, Казахстан

(E-mail: mukhametzhanova.v@gmail.com)

Аннотация. В статье посредством теоретического анализа и исследования показателей развития логистики в современных компаниях определяется важность и особенности внедрения искусственного интеллекта.

Искусственный интеллект (ИИ) в современной истории считается одной из самых революционных технологий. Предприятия пользуются ИИ, чтобы оптимизировать свои ресурсы и повышать эффективность работы. Для компаний, желающих внедрить новые технологии, искусственный интеллект предлагает множество преимуществ. ИИ имеет широкое применение в цепочках поставок и логистике. Он применяется с использованием множества различных приложений, которые используются по всему миру.

Исследование помогло выявить не только преимущества и пользу от внедрения ИИ на предприятиях, но и возможные риски. Было проведено тщательное изучение цифровой трансформации в рамках мультимодальных транспортных коридоров Республики Казахстан. Предполагается, что эта трансформация будет реализована посредством передовых технологических достижений и соблюдения стандартов в сотрудничестве с бизнес-сообществом, охватывающим торговлю, информационные технологии и транспортный сектор.

С помощью SWOT-анализа изучены последствия внедрения ИИ как на микрологистическом, так и на макрологистическом уровне функционирования предприятия. На основании всех изученных данных представлены показатели, которыми должна обладать компания для внедрения инновационной технологии, именуемой «Искусственный интеллект».

Ключевые слова: искусственный интеллект, цепочка поставок, логистика, инновации, технологии, склад, доставка.

Поступила 2.02.2024. Доработана 04.07.2024. Одобрена 05.09.2024. Доступна онлайн 30.09.2024

¹*автор для корреспонденции

Введение

В современном мире для того, чтобы компаниям оставаться эффективными и востребованными в своей отрасли, стало необходимо применение IT-технологий и искусственного интеллекта (далее ИИ). Промышленная революция подарила миру такие технологии, как искусственный интеллект, интернет-вещи, автономные системы и цифровые платформы, благодаря которым изменился способ производства, организация бизнеса и взаимодействие с клиентами. Всеобщая компьютеризация логистической отрасли дала возможность быстро планировать, просчитывать товарные потоки и их максимальную экономическую выгоду. Согласно исследованию, Forbes Insight «65% лидеров отрасли считают, что логистика, транспорт и цепочки поставок открыли эру «глубокой трансформации» [1].

Искусственный интеллект способен копировать человеческое мышление, у него есть некоторые общие способности, схожие со способностями людей. Учитывая, что искусственный интеллект включает в себя системы, выполняющие автоматизацию, имитацию, восприятие различных видов информации, принятие разных наборов данных и на этом основании генерирующих решение, ИИ способен более эффективно, чем это делают люди, выполнить необходимые действия.

Возможности искусственного интеллекта огромны. Системы на основе ИИ могут анализировать и обрабатывать любые задачи, связанные с текстами, видео, звуковыми данными так же, как с помощью органов чувств могут делать люди [2].

Основным показателем производительности таких систем является стремительное сокращение частоты ошибок. Уровень, который демонстрируют высококачественные голосовые помощники на основе искусственного интеллекта, достигает невероятных показателей. Чем более совершенными становятся технологии понимания речи, текста, изображений, тем более возрастают функциональные возможности систем, управляемых ИИ.

Исследователями из IBM подсчитано, что при использовании искусственного интеллекта даже небольшие инвестиции приносят наибольшую рентабельность. С развитием технологии способность искусственного интеллекта растет. В процесс включаются неструктурированные данные, сложные алгоритмы, задачи высокого уровня и так далее. В настоящее время искусственный интеллект включает в себя экспертные системы, приложения для перевода с одного языка на другой, робототехнику, технологии распознавания речевых сигналов, трехмерное воспроизведение зрительных образов и имитаторы функционирования нейронных сетей.

Методология

Системный подход к исследованию процесса перехода к цифровизации транспортно-складской отрасли, в частности, переход к роботизации и безбумажной технологии включает анализ и систематизацию большого количества данных с помощью таких инструментов, как хронометраж, опрос экспертов, SWOT-анализ.

Для определения степени воздействия внедрения ИИ на бизнес-процессы компании транспортно-складской отрасли применен метод экспертных оценок. Объем выборки составил 73 респондента, при доверительном уровне 0,95.

SWOT-анализ использовался для оценки сильных и слабых сторон, возможностей и угроз использования ИИ в компаниях транспортно-складской отрасли для разработки стратегии совершенствования цифровизации. Комбинирование этих методов позволит получить комплексное и обоснованное представление о состоянии цифровизации компаний транспортно-складской отрасли и определить пути их улучшения для оптимизации перевозочного процесса.

Результаты и обсуждения

В 2016 году на ежегодном всемирном экономическом форуме в Давосе впервые предметом встречи стало обсуждение и анализ задач, которые обеспечивают достижение устойчивого развития в будущем, внимание было уделено четвертой промышленной революции. Технология ИИ явилась одной из важнейших тем встречи. Роль правительства, бизнеса и науки в разработке искусственного интеллекта, необходимость обучения и переобучения людей, чтобы они могли эффективно работать с искусственным интеллектом, вопросы безопасности, конфиденциальности и автономии, связанные с последствиями при использовании искусственного интеллекта, а также возможности, связанные с внедрением искусственного интеллекта в различных секторах экономики, были затронуты при обсуждении влияния ИИ на общество.

С того времени прошло 7 лет, и в январе 2024 года на очередном собрании Всемирного экономического форума была затронута эта тема, где снова обсуждалась значимость ИИ. В центре дискуссий о технологиях в Давосе 2024 года было растущее признание того, что будущее за искусственным интеллектом. Почти 40% рабочих мест в мире, где возможно при внедрении ИИ облегчить труд человека, а в странах с развитой экономикой этот показатель возрастает до 60%. Основное внимание должно быть уделено сознательному подходу к ИИ – его применению в различных секторах и его взаимодействию с другими технологиями [3].

Транспортные услуги и цепочки поставок – одно из ключевых направлений в использовании производительности искусственного интеллекта. Применение ИИ в данном направлении за последние годы доказало сполна свою эффективность. Видя все плюсы этой системы, владельцы бизнеса стараются внедрить ее на производстве. Так, 83% руководителей крупных промышленных предприятий считают, что искусственный интеллект является главным приоритетом в бизнесе, а сохранение лидирующих позиций в области искусственного интеллекта стало важнейшим аспектом политической повестки в мировом масштабе. Крупные поставщики, такие, как Amazon, уделяют особое внимание обеспечению услугам доставки на высоком уровне и первоклассному обслуживанию клиентов. К примеру, большое внимание уделяется автоматизации бэк-офиса. Все повторяющиеся и детализированные задачи делегируют роботам, а далее искусственному разуму.

Имея широкие возможности, ИИ способен накапливать знания на основе человеческих решений, взаимодействовать с людьми и выносить суждения. Решить менее сложные задачи возможно с помощью роботизированной автоматизации процессов (РАП). Использование роботов для повторяющихся задач, связанных с данными, даёт большие преимущества предприятиям.

Применение роботов в складских и других помещениях различных производств сокращает потери и риски за счёт совершенствования робототехники. В Amazon работает более 100 000 складских роботов, которые могут заменить сотрудников-людей. И, как утверждает статистика одной из крупнейших бухгалтерских фирм Ernst & Young, это может позволить сэкономить до 65% затрат [4].

Внедряемые в бизнес-процессы различные формы и системы робототехники, такие, как автоматизированные тележки, датчики, беспилотные летательные аппараты (дроны) или полностью автоматизированные складские системы, способствуют безопасности жизни и здоровья сотрудников за счёт уменьшения вмешательства человека в складские операции. Согласно данным Ассоциации промышленного транспорта ИТА в США, более 855 000 вилочных погрузчиков используются на предприятиях, и их эксплуатация связана с более чем 100 000 несчастными случаями ежегодно.

Использование роботов-погрузчиков на складах решает задачи, способствующие улучшению управления складскими операциями, эффективному складированию и хранению. Улучшение эффективности работы склада приводит к повышению его производительности, что, в свою очередь, обеспечивает максимальную выгоду для производства, а также снижает уровень потерь.

Робототехника широко внедряется во все сферы производства. Существует разнообразие моделей роботов, предназначенных для упрощения труда человека и снижения рисков, связанных с жизнью и здоровьем [5].

Роботы позволяют рутинные, однообразные процессы автоматизировать путем применения искусственного интеллекта. Например, заполнение счетов и веб-форм, внесение данных в нужную базу данных, доступ к данным о доставке. Это приводит к тому, что данные становятся доступными для искусственного интеллекта.

Нашли широкое применение в области логистики экспертные системы, способствуя выявлению, уточнению и распространению экономически эффективных и практичных методов управленческих решений. Они разрабатывают единый формат вопросов и ответов, используемых экспертами для аналитического или оперативного решения задач. Экспертные системы обеспечивают доступность знаний одного специалиста для других членов команды, повышая согласованность, точность и производительность операций в рамках всей сети. Такие системы создают возможности для более эффективного управления ключевым ресурсом любой организации - знанием.

Программное обеспечение в логистических системах способно формировать и собирать логистическую базу знаний, аналогично тому, как обычные компьютерные программы сохраняют числовую информацию в базах данных. "База знаний" представлена эвристическими правилами, контрольными параметрами, общими принципами принятия решений и логистическими схемами. Учитывая более легкую

подачу программного обеспечения экспертных систем обновлениям, модификациям и расширениям по сравнению с обычными компьютерными программами, последние становятся более актуальными и широко применяемыми.

Поставщики, занятые в транспортной сфере, сотрудничают с поставщиками в области разработки программного обеспечения для ИИ, чтобы создать качественный и безопасный процесс транспортировки. При транспортировке грузов команде поставщика логистических услуг приходится обрабатывать огромное количество счетов и документов, а также на основе больших объёмов неструктурированных данных принимать логистические решения. Внедрение искусственного интеллекта на транспорте помогает снизить нагрузку на бухгалтерию логистики.

При применении технологий для автоматизации бухгалтерских задач особое внимание уделяется безопасности. Например, компания Ernst & Young использует систему, основанную на машинном обучении, для выявления и регистрации аномалий в счетах-фактурах, классификации документов, проверки соответствия нормативам и других задач. Данная система демонстрирует точность и эффективность 97%. Это успех в вопросе противостояния мошенничеству [8].

Искусственный интеллект легко решает любые задачи в цепочке поставок и логистике. Он помогает поставщикам транспортных услуг на основе передовой прогнозной аналитики оптимизировать график доставки и планирование маршрутов за счет обработки и классификации связанных контрактов, обновления информации о клиентах, проверки данных о доставке, просмотре длинных юридических документов, устранении дублирующей информации и так далее. Как правило, для решения такого объёма задач требуется привлечение большого количества сотрудников, что дорого и непродуктивно. Подход с использованием ИИ обеспечивает своевременное обслуживание и производительность активов.

Глобальные цепочки поставок управляют многочисленными транспортными средствами и перемещениями товаров по всему миру. Высокие показатели демонстрирует железнодорожный транспорт при использовании искусственного интеллекта. Искусственный интеллект открывает новые перспективы для разработки полностью автономных систем управления беспилотными поездами, предназначенными для перевозки грузов и пассажиров. Эффективно решаются вопросы стыковки поездов, обмена данными, получение уведомлений от менеджеров и последующие шаги.

В рамках макроуровня в цепочках поставок осуществляется взаимодействие различных видов транспорта, включая воздушный, водный, железнодорожный и автомобильный транспорт, что усложняет процесс доставки. Поставщики могут столкнуться с рисками возникновения стихийных бедствий, внутренних проблем партнеров и сбоях в предоставлении услуг снабжения. Разработка искусственным интеллектом решений по управлению рисками, снижает опасность потерь во время поставок и предоставляет прогноз возможных поломок. В режиме реального времени системы ИИ используют спутниковые связи, цифровые карты, необходимую информацию для составления оптимальных схем маршрутов и обработку любых данных, связанных со временем, местом, состоянием, изменением требований клиентов [9].

16 сентября 2020 года восьмью международными организациями системы ООН, включая региональные комиссии ООН – ЕЭК ООН, ЭСКАТО ООН, ЭКА ООН, ЭКЛАК ООН, ЭСКЗА ООН, а также ЮНКТАД, ИКАО и ИМО подписано совместное заявление «Вклад международной торговли и цепочек поставок в устойчивое социально-экономическое восстановление в период пандемии COVID-19», в котором указывается, что «...в беспрецедентной ситуации, когда физические контакты не рекомендуются, автоматизация и цифровизация являются ключевыми факторами, способствующими упрощению процедур торговли и транспорта. Поэтому международные организации системы ООН поддерживают дальнейшую цифровизацию торговых и таможенных процедур с использованием глобальных стандартов ООН для обеспечения быстрого и безопасного обмена данными и информацией о грузах и транспортных средствах. Это должно сочетаться с присоединением к правовым документам ООН по транспорту и их полным выполнением, в частности, по упрощению перевозок и безбумажной торговле».

С учетом изложенного внедрение цифровых транспортных, транзитных и таможенных инструментов, особенно вдоль мультимодальных транспортных коридоров, является велением времени.

С 2019 года АО «НК «Казахстан темиржолы» реализует 60 разных проектов и мероприятий в рамках программы модернизации «Цифровая трансформация» [10].

Одним из ярких примеров внедрения ИИ в Казахстанской логистике явился проект «Цифровые транспортные коридоры Евразийского экономического союза» (ЦТК ЕАЭС).

Сегодня Казахстан имеет разветвленную систему транспортного сообщения и связи со всеми основными международными транспортными коридорами для выхода на мировые рынки.

В стране сформированы и функционируют 5 международных железнодорожных транспортных коридоров (Северный коридор, Среднеазиатский коридор, южный коридор, Коридор «Север-юг», Транскаспийский международный транспортный маршрут (ТРАСЕКА)).

В 2021 году в коридорах было транспортировано около 155 миллионов тонн грузов, включая экспортные (131 миллион тонн) и транзитные (24 миллиона тонн). Около 90% транзитных грузов, пересекающих территорию Республики Казахстан, были перевезены железнодорожным транспортом, что составило 21 миллион тонн. Свыше 210 млн тонн груза перевезено железной дорогой за 10 месяцев 2023 года.

Погрузка на сети АО «НК «КТЖ» в январе-октябре 2023 года выросла на 2,1 млн тонн к уровню прошлого года и составила 213,8 млн тонн грузов [11].

По республике перевезено железнодорожным транспортом свыше 138 млн тонн. Экспорт вырос на 7,1%, до 75,7 млн тонн.

В связи с интенсивным развитием западных и центральных регионов Китая и субсидированием этими провинциями контейнерных перевозок в страны Европейского союза, по сравнению с 2017 годом, в 2022 году объемы транзитных перевозок увеличились на 75%, при этом контейнерный транзит вырос более чем в 3 раза.

Важными показателями в развитии международных перевозок являются обеспечение скоростных нормативов пропускания контейнерных поездов, качество сервиса, ускоренная

обработка на границе и совместная работа с логистическими платформами и транспортными компаниями Китая, Европы, России и Беларуси. За 10 месяцев 2023 года маршрутная скорость пропуска контейнерных поездов в транзитном сообщении в направлении Китай – Европа составляет 775 км в сутки.

В развитии международных перевозок ключевыми показателями являются соблюдение высоких стандартов проходимости контейнерных поездов, обеспечение качественного сервиса, ускоренная обработка на границах и сотрудничество с логистическими платформами и транспортными компаниями из Китая, Европы, России и Беларуси. В течение 10 месяцев 2023 года маршрутная скорость движения транзитных контейнерных поездов в направлении Китай – Европа достигла 775 км в сутки.

Приведенные показатели являются лишь частью данных, подтверждающих бурный рост транспортных потоков по Казахстану и связанной с ними инфраструктурой. Поэтому цель Компании АО «НК «КТЖ» переход экономики страны на принципиально новую траекторию развития, обеспечивающую создание цифровой экономики будущего. Следуя установленному ориентиру, Компания реализует проекты по цифровизации бизнес-процессов.

Переход к цифровым мультимодальным транспортным коридорам в третьем десятилетии XXI века стал ключом к созданию эффективной системы транспортно-экономических связей и интеграции в мировые рынки для стран, не имеющих выхода к морю, и стран транзита.

В рамках ЕАЭС был разработан четкий план мероприятий по созданию системы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС (далее – План ЦТК). Указанный документ утвержден Евразийским межправительственным советом от 31.01.2020 г. №4, а уполномоченным органом в Республике Казахстан определено Министерство транспорта РК.

Утвержден Перечень сервисов цифровой инфраструктуры (далее – Перечень сервисов) от 23.11.2020 г. №29. В указанный перечень включен сервис по применению электронной международной транспортной накладной (для железнодорожного транспорта), который обеспечивает возможность применения электронной формы документов в целях перевозки грузов железнодорожным транспортом по территориям всех государств-членов.

Целью сервиса является повышение эффективности ведения и проверки транспортных накладных контролирующими органами всех государств-членов ЕАЭС за счет применения электронной формы документа, без необходимости распечатывать документы.

Следующий этап по Плану – определение механизмов (способов, форм) реализации приоритетных сервисов и инфраструктурных элементов для создания системы цифровых транспортных коридоров Союза.

14 сентября 2021 года Решением Совета Евразийской экономической комиссии №87 утвержден Верхнеуровневый План мероприятий («дорожная карта») по реализации проекта «Создание информационно-коммуникационной «витрины» национальных сервисов Экосистемы цифровых транспортных коридоров ЕАЭС» (далее – витрина ЦТК).

Проект витрина ЦТК предполагает создание цифровой инфраструктуры и определение технических решений для реализации всех сервисов ЦТК. Данный проект финансируется за счет бюджета ЕАЭС и реализуется на территории всех государств-членов ЕАЭС на выбранных для сервисов магистральных маршрутах международных транспортных коридоров с учетом рекомендации Коллегии Комиссии ЕЭК, включая железнодорожный маршрут от границы Республики Казахстан с КНР через территории Российской Федерации до западной границы Республики Беларусь с Польской Республикой.

На сегодняшний день по ж/д транспорту предусмотрен сервис – электронный обмен ж/д накладной.

АО «НК «КТЖ» в целях реализации обмена электронными данными по стандартам UN/EDIFACT в международном железнодорожном грузовом сообщении заключило Соглашения:

- с ОАО «Российские железные дороги» (далее – ОАО «РЖД») и ГП «НК «Кыргыз темир жолу» в объеме накладной СМГС, ЦИМ/СМГС, информацией о составе поезда (поездная передаточная ведомость) и товаросопроводительных документов (инвойс, упаковочный лист), данными о грузополучателях в формате PARTIN;
- с ГК «Китайские железные дороги» в объеме накладной СМГС, ЦИМ/СМГС, информацией о составе поезда (поездная передаточная ведомость);
- с АО «Азербайджанские железные дороги» и АО «Узбекистон темир йуллари» в объеме накладной СМГС, и информацией о составе поезда (поездная передаточная ведомость).

В целях реализации безбумажной технологии ТОО «КТЖ – Грузовые перевозки» с ОАО «РЖД» заключено Соглашение об осуществлении перевозок частных порожних вагонов и грузов в вагонах и контейнерах по безбумажной технологии с использованием электронной накладной от 16.11.2016 г. и в 2023 г. дополнительное соглашение (далее – Соглашение). В рамках данного Соглашения АО «НК «КТЖ» осуществляет оформление перевозочных документов в экспортном и импортном сообщениях с применением безбумажной технологии на российские станции ОАО «РЖД».

Перевозочные документы в автоматизированной системе АО «НК «КТЖ» подписываются электронной цифровой подписью грузоотправителей, грузополучателей. Легитимность электронных перевозочных документов при перевозках с ОАО «РЖД» по безбумажной технологии обеспечивается Доверенной третьей стороной, функции которой обеспечивает АО «Национальные информационные технологии» на государственном уровне.

На рисунке 2 показаны результаты оформления перевозочных документов по безбумажной технологии за 2020 год в компании АО «НК «КТЖ»

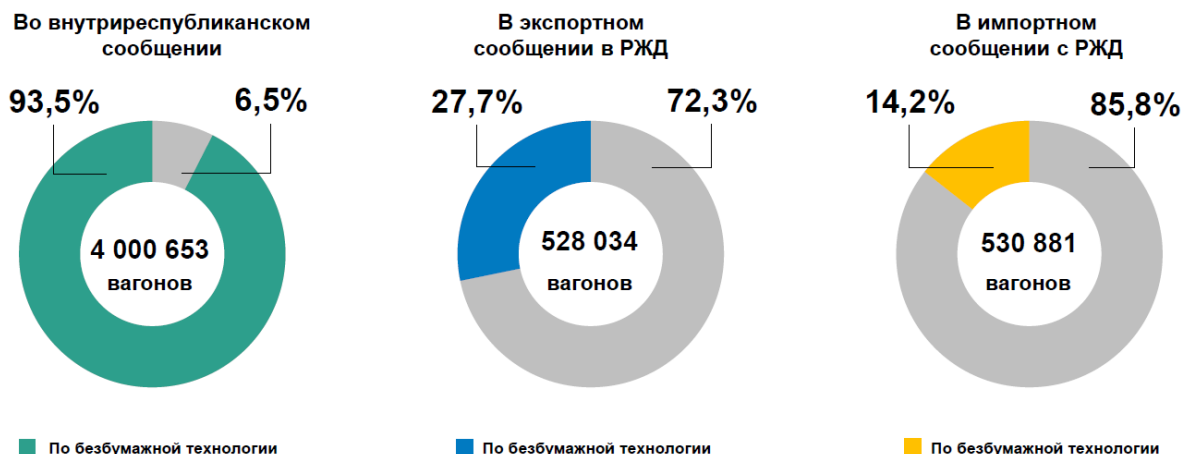


Рисунок 1. Оформление перевозочных документов по безбумажной технологии в 2020 году

За 10 месяцев 2023 года процент безбумажных перевозок в направлении РЖД для экспортных перевозок составил более 60%. Во внутриреспубликанском сообщении процент оформления вагонов по безбумажной технологии составил 99,6% [12].

В июне-июле 2021 г. успешно проведены тестовые перевозки грузов (по согласованной номенклатуре и маршрутам) в сообщении Беларусь-Россия-Казахстан по безбумажной технологии на основе электронных накладных СМГС. По итогам тестовых перевозок в настоящее время прорабатывается вопрос о расширении географии применения электронных перевозочных документов в сообщении Беларусь-Россия-Казахстан.

Между АО «НК «КТЖ», ОАО «РЖД» и Белорусской железной дорогой был подписан Порядок проведения пилотного проекта по обмену электронными сообщениями IFTMIN в формате EDIFACT в объеме накладной СМГС, содержащими информацию признака электронности транзитной декларации и информацией о таможенной отметке при транзите товаров, перемещаемых железнодорожным транспортом по маршрутам перевозки Достык-Брест-Северный, Алтынколь-Брест-Северный.

Данный проект позволит железнодорожному перевозчику осуществлять проверку в своих информационных системах таможенных отметок для выполнения своих обязательств, предусмотренных таможенным законодательством Евразийского экономического союза.

АО «НК «КТЖ» ставятся задачи по расширению географии обмена легитимными электронными данными с перевозчиками других государств и повышения полноты и качества обмена электронными данными до уровня, позволяющего осуществить переход к перевозкам по электронным документам, что, в свою очередь, приведет к улучшению трансграничной пропускной способности, принятию мер по устранению узких мест

В рамках развития торгово-экономического сотрудничества между ЕАЭС и его государствами-членами и Китайской Народной Республикой согласно вступившего в силу Распоряжения №17 от 20.08.21 г. Евразийского межправительственного совета «О плане по цифровизации грузовых железнодорожных перевозок в интересах развития

торгово-экономического сотрудничества между ЕЭАС и его государствами-членами, с одной стороны, и КНР, с другой стороны» установлены сжатые сроки реализации поэтапного перехода на безбумажную технологию перевозок грузов железнодорожным транспортом.

Результатами реализации проекта по формированию экосистемы цифровых транспортных коридоров будет:

1. Сокращение сроков доставки.
2. Сокращение времени и затрат на пересечение границы.
3. Отказ от бумажной документации.

Переход на «цифру» и сокращение времени оформления бумажных документов для всех участников мультимодальных перевозок (автомобильные и железнодорожные перевозчики, экспедиторы, таможня, органы государственного контроля и др.) дает экономию до 4 дней.

4. Устранение издержек, связанных с коррупцией.

Отсутствие физических контактов с персоналом (таможня, органы государственного контроля) за счет цифровизации процедур исключает физические проверки и соблазны коррупции.

5. Уменьшение воздействия на климат и окружающую среду.

Увеличение средней скорости доставки грузов и сокращение времени ожидания на границе снижает объем выбросов парниковых газов.

6. Привлечение дополнительных грузопотоков.

Кроме того, проект позволит обеспечить не только цифровизацию транзита, полную прослеживаемость грузов, контейнеров и транспортных средств, но и снизить риск недоставки грузов в контейнерах, обеспечить доверие таможенных органов всех стран, через территорию которых осуществляется международная перевозка.

Широкое внедрение цифровых технологий и электронного обмена данными, появление платформы блокчейн, спутниковой навигации, температурных датчиков позволяют кардинально изменить подходы к обеспечению таможенной безопасности и прослеживаемости транспортных средств и перевозимых товаров, в т.ч. для таможенных органов.

В настоящее время рассматривается концепция, направленная на внедрение цифрового Глобального транзитного документа (GTrDtm), базирующегося на технологии блокчейн. Переход к его использованию позволит оптимизировать логистические издержки и создать предпосылки для привлечения дополнительных потоков контейнерных грузов на мультимодальный транспортный коридор.

Технология блокчейн позволяет создать цифровую сеть таможенного транзита (ЦСТТ), одним из элементов которой может стать GTrDtm.

Благодаря технологии блокчейн GTrDtm позволит:

- минимизировать риск исчезновения контейнера и груза в пути и, тем самым, недоставки груза до грузополучателя;
- устанавливать точное время и место нахождения каждого контейнера в пути следования;

- обеспечить максимальную унификацию всех данных о грузе, перевозчиках, грузовладельцах, пути следования и т.д.;
- гарантировать защиту всей информации о контейнере и грузе от несанкционированного доступа и преднамеренных искажений;
- гарантировать доступ к системе для государственных таможенных органов и уполномоченных таможенных операторов;
- в полном объеме использовать преимущества технологии «одного окна» и «зеленого коридора»;
- обеспечить предварительное информирование о грузах, контейнерах и транспортных средствах в интересах таможенных органов, грузовладельцев и экспедиторов;
- создать электронный реестр данных обо всех состоявшихся перевозках.

Внедрение цифровой платформы мультимодального транспортного коридора на базе блокчейн и с использованием GTrDtm позволит распространить режим таможенной гарантии (Фаза 1 Проекта) и страхования (Фаза 2 Проекта), а также прослеживаемость товаров и транспортных средств на весь путь следования от начальной до конечной точки, что чрезвычайно важно для таможенных органов.

При введении GTrDtm снизится потребность в хранении и таможенной очистке контейнера по прибытии в порт или на припортовую железнодорожную станцию, т.к. вся информация о грузе, маршруте следования и т.д. будет заблаговременно доступна таможенным органам, что значительно сократит время на проведение операций и потребность в человеческих ресурсах.

Таким образом, можно сказать что Цифровая Сеть Таможенного Транзита (DCTN) станет синергическим объединением «старого» опыта, хорошо апробированных механизмов, новых инструментов и подходов, продиктованных сегодняшним днём.

При огромных перспективах, которые ожидают пользователей ИИ, стоит разобраться, к каким рискам должны быть готовы компании для внедрения данной инновации.

SWOT-анализ поможет выявить сильные и слабые стороны, возможности и угрозы для компаний, планирующих внедрить ИИ. В таблице 1 представлен SWOT-анализ использования искусственного интеллекта в логистике предприятия.

Таблица 1. SWOT-анализ использования искусственного интеллекта в логистике предприятия

Сильные стороны	Слабые стороны
Большая вероятность прогнозирования спроса и предложения, что позволяет увеличить объем складских запасов и управлять производственными мощностями. Автоматизация многих процессов, таких, как отслеживание вероятности и маршрутизация транспорта, что ускоряет и оптимизирует работу.	Высокая стоимость внедрения искусственного интеллекта. Необходимость обучения и обслуживания систем искусственного интеллекта. Ограниченность искусственного интеллекта в сложных и нестандартных проявлениях. Некоторые сотрудники слабо обучаемы при внедрении новых технологий.

Улучшение качества услуг, так как искусственный интеллект может вызвать более точную и быструю реакцию на принятие решений. Минимизация ошибок, связанных с человеческим поведением.	
Возможности	Угрозы
Улучшение управления запасами производства. Улучшение эффективности и оценки доставки товаров. Повышение лояльности клиентов. Увеличение производительности.	Возможность потери данных и нарушения конфиденциальности. Высокая конкуренция на рынке логистических услуг. Риск ошибок и сбоев в системах искусственного интеллекта. Риск технической устареваемости систем искусственного интеллекта.

В результате анализа отметим, что эффективное использование искусственного интеллекта требует значительных ресурсов и мощностей, так как это сопряжено с высокой степенью риска. Высокая мощность и ресурсы должны быть подкреплены масштабом производства, гибкостью бизнес-процессов, видами задач, которые необходимо решить с помощью ИИ, а также высокой квалификацией специалистов по ИИ.

В целом для успешного использования ИИ на предприятии необходимы определенные ресурсы:

1. Необходимо обеспечить систему искусственного интеллекта большим объемом данных для обучения, а также создания точных моделей прогнозирования и расчетов, что позволит получить доступ к обширному количеству данных о логистических процессах, спросе и производственных планах, что, в свою очередь, обеспечит точность расчетов и прогнозов.

2. Необходимы высокие вычислительные мощности для обработки больших объемов данных и выполнения сложных алгоритмов.

3. Системы хранения и обработки данных, которые накапливают, сохраняют и анализируют большие объемы данных.

4. Мощная система безопасности данных, предотвращающая несанкционированный доступ к конфиденциальной информации.

5. Интеграция с другими технологиями, которые используются на предприятии.

6. Обучение и подготовка сотрудников, которые пользуются системой искусственного интеллекта в своей работе.

7. Компания должна обладать высококвалифицированными специалистами, способными работать с передовыми технологиями и внедрять решения для улучшения логистических процессов.

8. Финансовые ресурсы для приобретения и настройки систем ИИ, для инвестирования в развитие технологической ценности и найма высококвалифицированных специалистов.

9. Глобальное присутствие, чтобы обслуживать клиентов в различных частях мира.

10. Иметь партнерские отношения с другими предприятиями и организациями, чтобы использовать свои ресурсы и экспертизу для оптимизации логистических процессов.

Искусственный интеллект и машинное обучение превзошли человеческий фактор с точки зрения эффективности принятия решений на основе собранных данных. В управлении логистикой на этапе любого бизнес-процесса внедрение искусственного интеллекта дает огромные перспективы. В данной статье в результате использования различных методов для исследования и анализа логистических компаний, внедривших в свои бизнес-процессы искусственный интеллект, выявлено, что у каждой компании существует развитие и улучшение экономических показателей. Но при проведении SWOT- анализа выявлено, что на пути внедрения ИИ существует риск. В связи с этим предложен список ресурсов, необходимых компании для принятия решения о внедрении в своих процессах ИИ.

Заключение

В результате исследования выявлена степень внедрения ИИ в логистике и цепочках поставок. Согласно отчета MCI за 2021 год, 17% крупных, средних и малых организаций уже успешно внедрились искусственный интеллект (ИИ) в свои логистические процессы и цепочки поставок. Кроме того, 45% опрошенных находятся на пороге внедрения ИИ, что свидетельствует о широком интересе и подготовке к использованию этих технологий в ближайшем будущем.

Важно отметить, что за счет ИИ происходит рост производительности и доходов компаний, использующих его. Исследования показывают, что применение ИИ может повысить производительность труда более чем на 40% к 2035 году. Это значительное улучшение эффективности подтверждает, что ИИ является мощным инструментом для оптимизации логистических процессов. Рост доходов от внедрения ИИ в логистику также подтверждается данными, показывающими, что технологии уже начали существенно изменять отрасль в различных аспектах.

Возможности искусственного интеллекта в логистической сфере становятся всё более обширными и доступными, и это стало еще одним критерием популярности ИИ, который активно внедряется во все этапы производственных и логистических процессов, открывая новые перспективы для развития и инноваций.

Все вышеперечисленное указывает на то, что мы находимся на пороге эпохи искусственного интеллекта, которая будет характеризоваться значительными изменениями и улучшениями в логистике и других сферах экономики.

Искусственный интеллект не только улучшает текущие процессы, но и открывает новые возможности для инноваций и развития в логистической сфере. Внедрение ИИ становится ключевым фактором конкурентоспособности и эффективности для современных предприятий

Вклад авторов

А.В. Мухаметжанова – концепция, методология, сбор данных.

Н.В. Деветьярова, И.Ю. Савушкина – моделирование, анализ, визуализация, заключение.

Список литературы

1. Как искусственный интеллект и машинное обучение революционизируют логистику, цепочки поставок и транспорт [Электрон. ресурс]-2018- URL. <https://www.forbes.com/sites/insights-penske/2018/09/04/how-artificial-intelligence-and-machine-learning-are-revolutionizing-logistics-supply-chain-and-transportation/?sh=1d1ff97558f5/> (дата обращения: 15.11.2023).
2. Актуальность для будущего логистики [Электрон. ресурс]-2023- URL. <https://www.dhl.com/global-en/home/insights-and-innovation/insights/artificial-intelligence.html/> (дата обращения: 12.12.2023).
3. Всемирный экономический форум// Официальный сайт// <https://www.weforum.org/agenda/2024/01/surprising-things-to-know-about-ai-and-emerging-technology-at-davos-2024/>(дата обращения: 28.01.2024).
4. Спирина К., Жаровских А. ИИ в логистике и транспорте: сдвиги, основанные на данных, для развития бизнеса [Электрон. ресурс]-2021- URL. <https://indatalabs.com/blog/ai-in-logistics-and-transportation/> (дата обращения: 08.09.2023).
5. Шахворостов С.А. Роботы в системах автоматизации. - Красноярск: Научно-инновационный центр, 2016. – С. 4-19.
6. Бойко А. Роботы-курьеры для предприятий [Электрон. ресурс]-2019- URL. <https://robotrends.ru/robopeedia/roboty-kuryery-dlya-predpriyatiy/> (дата обращения: 30.08.2023).
7. Пляшешник П.И. Внедрение роботов в будущее – неизбежно / П.И. Пляшешник, С.С. Шихов, С.Н. Глебочев // Мясная индустрия. – 2015. – № 9. С. 30-33.
8. Каспарьянц Д. Стандартизация искусственного интеллекта в ЕС [Электрон. ресурс]-2021- URL. <https://rdc.grfc.ru/2021/10/ai-standards/> (дата обращения: 13.10.2023).
9. Дыбская В. В., Сергеев В. И., Лычкина Н. Н. Цифровые технологии в логистике и управлении цепями поставок. – М.: Изд. дом Высшей школы экономики, 2020. – С. 36-127.
10. КТЖ подвел итоги цифровизации на железной дороге [Электрон. ресурс]-2021- URL. <https://toppress.kz/article/ktzh-podvel-itogi-cifrovizacii-na-zheleznoi-doroge> (дата обращения: 04.12.2023).
11. ТОО «КТЖ — Грузовые перевозки» // Официальный сайт // https://ktzh-gp.kz/ru/media/news/news_main_section_ru/18165/(дата обращения: 25.12.2023).
12. ТОО «КТЖ — Грузовые перевозки» // Официальный сайт // https://ktzh-gp.kz/ru/media/news/news_main_section_ru/14772/ (дата обращения: 25.12.2023).
13. Искусственный интеллект в логистике [Электрон. ресурс]-2022- URL. <https://clck.ru/33dfRK/> (дата обращения: 24.11.2023).

А.В. Мухаметжанова^{*1}, Н.В. Деветьярова², И.Ю. Савушкина¹

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

²Халықаралық көлік және гуманитарлық университеті, Алматы, Қазақстан

Жаһандық логистикадағы жасанды интеллект

Андатпа. Мақалада заманауи компаниялардағы логистиканың даму көрсеткіштерін теориялық талдау және зерттеу арқылы жасанды интеллектті енгізудің маңыздылығы мен ерекшеліктері анықталады.

Жасанды интеллект (ЖИ) – қазіргі тарихта ең революциялық технологиялардың бірі болып саналады. Кәсіпорындар өз ресурстарын оңтайландыру және жұмыс тиімділігін арттыру үшін ЖИ пайдаланады. Жаңа технологияларды енгізгісі келетін компаниялар үшін жасанды интеллект көптеген артықшылықтар ұсынады. ЖИ жеткізу тізбегі мен логистикада кеңінен қолданылады. Ол бүкіл әлемде қолданылатын әртүрлі қосымшалардың көмегімен қолданылады.

Бәсекеге қабілетті болуға деген ұмтылыс кәсіпорындарды өндірістік операцияларды жақсарту үшін дәлірек, заманауи жабдықты пайдалану туралы шешім қабылдауға әкеледі. Саланың көшбасшылары-ең жаңа технологияларды ең батыл қолданатын компаниялар. Инновациялық шешімдер тапсырыстарды жедел орындауды, тауарлық-материалдық құндылықтардың дәлдігін жақсартуды, жеткізу уақытын қысқартуды және болжаудың дәлірек үлгілерін қамтитын басқару міндеттерінің тиімділігін арттырады.

Зерттеу кәсіпорындарда ЖИ енгізудің артықшылықтары мен артықшылықтарын ғана емес, сонымен қатар ықтимал тәуекелдерді де анықтауға көмектесті. Қазақстан Республикасының мультимодальды көлік дәліздері шеңберінде цифрлық трансформацияны мұқият зерделеу жүргізілді. Бұл трансформация сауданы, ақпараттық технологияларды және көлік секторын қамтитын бизнес-қауымдастықпен ынтымақтастықта озық технологиялық жетістіктер мен стандарттарды сақтау арқылы жүзеге асырылады деп болжануда.

SWOT талдауының көмегімен кәсіпорынның микрологиялық және макрологиялық деңгейінде ЖИ енгізудің салдары зерттелді. Барлық зерттелген мәліметтерге сүйене отырып, жасанды интеллект деп аталатын инновациялық технологияны енгізу үшін компания иеленуі керек көрсеткіштер ұсынылған.

Түйін сөздер: жасанды интеллект, жеткізу тізбегі, логистика, Инновация, технология, қойма, жеткізу.

A.V. Mukhametzhanova¹, N.V. Devetyarova², I.Y. Savushkina¹

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

²International Transport and Humanities University, Almaty, Kazakhstan

Artificial intelligence in global logistics

Abstract. In the article, through theoretical analysis and research of logistics development indicators in modern companies, the importance and features of the introduction of artificial intelligence are determined.

Artificial intelligence (AI) is considered one of the most revolutionary technologies in modern history. Enterprises use AI to optimize their resources and improve operational efficiency. For companies wishing to introduce new technologies, artificial intelligence offers many advantages. AI has wide applications in supply chains and logistics. It is applied using many different applications that are used all over the world.

The desire to remain competitive leads enterprises to decide to use more high-precision, modern equipment to improve production operations. The industry leaders are the companies that apply the latest technologies most decisively. Innovative solutions increase the efficiency of management tasks, which include prompt order fulfillment, improved inventory accuracy, shorter delivery times and more accurate forecasting models.

The study helped to identify not only the advantages and benefits of implementing AI in enterprises, but also possible risks. A thorough examination has been conducted on the digital transformation within the multimodal transport corridors of the Republic of Kazakhstan. This transformation is intended to be implemented through cutting-edge technological advancements and adherence to standards, in collaboration with the business community encompassing trade, IT, and the transportation sector.

Using SWOT analysis, the consequences of the introduction of AI have been studied both at the mycological and macrological levels of enterprise functioning. Based on all the studied data, the indicators that a company must have in order to implement an innovative technology called Artificial Intelligence are presented.

Keywords: artificial intelligence, supply chain, logistics, innovation, technology, warehouse, delivery.

References

1. How artificial intelligence and machine learning are revolutionizing logistics, supply chains and transportation [Electron. resource]-2018- URL. <https://www.forbes.com/sites/insights-penske/2018/09/04/how-artificial-intelligence-and-machine-learning-are-revolutionizing-logistics-supply-chain-and-transportation/?sh=1d1ff97558f5> / (date of reference: 11/15/2023).
2. Relevance for the future of logistics [Electron. resource]-2023- URL. <https://www.dhl.com/global-en/home/insights-and-innovation/insights/artificial-intelligence.html> / (date of request: 12.12.2023).
3. World Economic Forum// Official website// <https://www.weforum.org/agenda/2024/01/surprising-things-to-know-about-ai-and-emerging-technology-at-davos-2024/> (date of application: 01/28/2024).
4. K. Spirina, A. Zharovskikh AI in logistics and transport: data-based shifts for business development [Electron. resource]-2021- URL. <https://indatalabs.com/blog/ai-in-logistics-and-transportation/> / (date of reference: 09/08/2023).
5. Shakhvorostov, S.A. Robots in automation systems -Krasnoyarsk: Scientific and Innovation Center, 2016. – pp. 4-19.
- 6.A. Boyko Robot couriers for enterprises [Electron. resource]-2019- URL. <https://robotrends.ru/robopedia/roboty-kurery-dlya-predpriyatij/> / (date of reference: 30.08.2023)
7. Plyasheshnik P.I. Introduction of robots into the future is inevitable / P.I. Plyasheshnik, S.S. Shikhov, S.N. Glebochev // Meat industry. - 2015. – No. 9 pp. 30-33
8. D. Kaspariyants Standardization of artificial intelligence in the EU [Electron. resource]-2021- URL. <https://rdc.grfc.ru/2021/10/ai-standards/> / (date of reference: 10/13/2023)

9. V.V. Dybskaya, V.I. Sergeev, N.N. Lychkina Digital technologies in logistics and supply chain management – Moscow: Publishing House of the Higher School of Economics, 2020. – pp. 36-127, with
10. KTZ summed up the results of digitalization on the railway [Electron. resource]-2021- URL. <https://toppress.kz/article/ktzh-podvel-itogi-cifrovizacii-na-zheleznoi-doroge> (date of application: 04.12.2023)
11. KTZ – Freight transportation LLP // Official website // https://ktzh-gp.kz/ru/media/news/news_main_section_ru/18165 / (date of reference: 12/25/2023)
12. KTZ – Freight Transportation LLP // Official website // https://ktzh-gp.kz/ru/media/news/news_main_section_ru/14772 / (date of access: 12/25/2023)
13. Artificial intelligence in logistics [Electron. resource]-2022- URL. <https://clck.ru/33dfRK> / (accessed: 11/24/2023).

Сведения об авторах:

А.В. Мухаметжанова – д.т.н., и.о. профессора, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, улица Каныша Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, +7(701)9072019, mukhametzhanova.v@gmail.com

Н.В. Деветьярова – старший преподаватель, Международный транспортно-гуманитарный университет, мкрн. Жетысу-1, д.32а, Алматы, Казахстан, +7(705)2877393, devetyarova.n@gmail.com

И.Ю. Савушкина – магистрант MBA, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, savushkina_i@railways.kz

А.В.Мухаметжанова – т.ғ.д., профессордың м. а., Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қаныш Сәтпаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан +7(701)9072019, mukhametzhanova.v@gmail.com

Н.В.Деветьярова – Халықаралық көлік-гуманитарлық университетінің аға оқытушысы, шағын аудан. Жетісу-1, 32а үй, Алматы, Қазақстан, +7(705)2877393, devetyarova.n@gmail.com

И.Ю.Савушкина – MBA магистранты, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан, savushkina_i@railways.kz

A.V.Mukhametzhanova– Doctor of Technical Sciences, Acting Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kanysh Satpayev Street, 2, Astana, Kazakhstan, +7(701)9072019, mukhametzhanova.v@gmail.com

N.V.Devetyarova – Senior Lecturer at the International Transport and Humanitarian University, Microdistrict. Zhetysu-1, 32a Almaty, Kazakhstan, +7(705)2877393, devetyarova.n@gmail.com

I.Y.Savushkina – MBA Master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, savushkina_i@railways.kz



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 67.07.11

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-51-67>

Научная статья

Принципы формирования устойчивой архитектуры образовательной школы (на примере индонезийской школы на острове Бали)

А.А. Тойшиева*¹, С.Ш.Садыкова¹, Л.А. Жаксылыкова¹,
А.М. Саурбаева¹, А.С. Сералин²

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

²Таразский региональный университет им. М.Х. Дулати, г. Тараз, Казахстан

(E-mail: almagul7@inbox.ru)

Аннотация. В XXI век концепция устойчивого развития вошла как одна из фундаментальных основ развития будущего человечества. Стратегия устойчивости осмысливается сегодня более широко и проникает во все аспекты жизни, в том числе и в сферу образования. Глобальные угрозы цивилизации демонстрируют сегодня глобальные экономические, демографические, военно-политические, экологические и социально-культурные процессы, порождая, в свою очередь, проблемы социализации и адаптации младшего поколения. Из сложившейся ситуации невозможно выйти без комплексного и широкого использования превентивных механизмов развития. И, безусловно, одним из таких опережающих механизмов является сфера образования, в частности, архитектура школ. В этой связи архитектура, выступая основным ресурсом в создании образовательной среды, должна меняться и переходить на качественно новый уровень. Актуальность исследования определяется в применении новых архитектурно-градостроительных принципов в проектировании современных школ, способных обеспечить экологически-комфортную среду, устойчивое функционирование всех процессов образовательной среды. В работе проведено изучение и анализ опыта формирования устойчивой архитектуры школы, где на примере индонезийского школьного комплекса Bali Green School (остров Бали) представлен положительный опыт создания устойчивой архитектуры. В методологии изучения научной литературы для полного раскрытия тематики исследования авторы обращаются к естественным, гуманитарным и общественным наукам – экологии, психологии, философии, педагогике и микробиологии. В результате выделяются пять принципов: принцип интеграции архитектуры и природы; принцип идентичности в архитектуре; принцип пермакультуры; принцип открытости образовательного пространства; принцип экологического благополучия.

Ключевые слова: устойчивое развитие, школьное здание, устойчивая архитектура, природа, экология, идентичность, пермакультура.

Поступила 27.02.2024. Доработана 08.08.2024. Одобрена 10.08.2024. Доступна онлайн 30.09.2024

*автор для корреспонденции

Введение

В настоящее время вопрос устойчивого развития архитектуры школьных зданий остается открытым. Это связано с динамичным процессом поиска новых подходов в теории и практике формирования школ нового типа [1], которые, в силу интенсивности социально-экономических, политических, научно-технических, экологических процессов, приводят к модернизации в проектировании учебных заведений [2].

Региональные и глобальные угрозы, происходящие в современном мире, ставят под вопрос дальнейшее существование человечества, и проблема обеспечения экологически-устойчивых условий для его стабильного развития приобретает сегодня особую актуальность [3]. Тенденции научно-технического прогресса, информационного общества и глобализации существующего мира [4], затрагивая все сферы жизни общества, приносят значимые изменения и в системе образования, ставя архитектурно-пространственную среду школы на качественно новый уровень [5]. Помимо этого, процесс роста городов и поселений (за счет погони за «универсальностью» и «глобальностью») привел к проблемам устойчивости среды жизнедеятельности, который затрагивает вопросы стирания аутентичности места, утраты естественного ландшафта, культуры природной среды. Сегодня пришло понимание того, что природные ресурсы Земли в большинстве своем имеют исчерпывающий характер, и сейчас остро встают вопросы обеспечения экологической безопасности при сохранении устойчивого развития городов [6] и в целом человеческих поселений. Согласно многим научным исследованиям, в основе развития экополиса (город с технологией замкнутого цикла, без отходов) лежат, прежде всего, экологическое производство и экологическая культура, которые в процессе интеграции могут обеспечить устойчивое состояние окружающей среды [7].

Стремительные изменения, происходящие в нашем обществе, противоречивым образом отражаются на подрастающем поколении [8], вызывая, в свою очередь, проблемы у младшего поколения по адаптации к окружающему пространству, чувство неуверенности в себе, тревожность, дефицит коммуникативного общения. И задача современной архитектуры школьных зданий – «подстраиваться под меняющиеся внешние факторы, быть гибкой и восприимчивой к учебно-воспитательному процессу, синтезировать технические новшества» [9]. Поэтому в свете озвученных проблем изучение вопроса устойчивости архитектуры школ является актуальным. В рамках тематики исследования решение данного вопроса рассматривается в формате следующих архитектурных принципов: интегрированность архитектуры (интеграция архитектуры и природы); принцип идентичности в архитектуре; принцип пермакультуры; принцип открытости образовательного пространства; принцип экологического благополучия.

Актуальность данных принципов и степень их использования в современной архитектуре школ проанализирована путем обзора соответствующей литературы [10], в списке изучения которой включены такие науки, как педагогика, социология, психология, философия, микробиология. Таким образом, это подтверждает важность комплексного подхода к изучению и практическому опыту создания устойчивой архитектуры образовательных учреждений, включающей целостную систему

различных, взаимосвязанных между собой научно-практических направлений. Обзор литературы в работе зафиксирован в виде диаграммы с помощью программы Litmaps и представлен на Рисунке 1.



Рисунок 1. Диаграмма обзора литературы создана с помощью программы Litmaps.
Авторская разработка

Цель данной работы – выявить и обосновать современные архитектурно-градостроительные принципы в целях создания экологически устойчивой среды. Для этого в работе рассматривается и анализируется опыт формирования устойчивой архитектуры индонезийского школьного комплекса Bali Green School (остров Бали), реализованного в 2008 году, а также подчеркивается необходимость использования такого подхода в дальнейшей практике формирования устойчивых объектов образования.

Исходя из цели исследования, определены задачи, где авторами на примере устойчивой архитектуры Bali Green School (остров Бали, Индонезия) проводится глубокий анализ изучения объекта, в основе которого демонстрируется архитектурная концепция школы нового типа, обеспечивающая экологически-устойчивое функционирование всех процессов образовательной среды.

Актуальность данной работы подчеркивается необходимостью менять приемы проектирования современных школ, определять новые механизмы архитектурно-градостроительной организации современных школ, способные обеспечить экологическую безопасность и комфортные условия школьной среды для успешной социализации и саморазвития гармоничной личности подрастающего поколения.

Методология

В качестве методологии исследования используются следующие инструменты:

- изучение и анализ опыта формирования устойчивой архитектуры индонезийской школы Bali Green School (остров Бали);
- изучение литературы и научных источников по данной тематике, которые позволили научно обосновать принципы современного формирования устойчивой архитектуры школьного комплекса;
- для более глубокого и объективного подхода в решении вопроса формирования устойчивой образовательной среды школы был использован междисциплинарный подход в изучении научных трудов, которые включают знания из области таких наук, как философия, психология, педагогика, социология, микробиология и экология окружающей среды. Обзор научных публикаций был отобран на основе критериев, соответствующих тенденциям устойчивого развития современного общества.

Результаты и обсуждения

Сегодня облик современной школы значительно меняется и становится центром интеллектуальной, творческой и спортивной жизни учащихся, которая должна отвечать новым социальным, экологическим, архитектурно-градостроительным требованиям [11]. Для определения тенденций формирования устойчивой архитектуры образовательного учреждения на примере строительства школы Bali Green School (остров Бали, Индонезия) авторы статьи предлагают ее важные принципы.

Интегрированность архитектуры – интеграция архитектуры и природы. Данный принцип подразумевает взаимодействие объекта архитектуры с окружающей природной средой с учетом сохранения градостроительной и ландшафтной ситуации. Здесь природа как носитель духовного начала становится главным объектом [12] в творческом поиске формообразования. Результатом данного подхода является органичное слияние архитектуры с исходным характером природной среды, с учетом средового масштаба, а также использование таких конструкций и материалов, тектоника и цветовое решение которых контекстно прочитываются с природным окружением.

Международная школа Bali Green School основана в 2008 году американцами Джоном и Синтией Харди и создана совместно с архитектурной студией IBUKU в тесном сотрудничестве с местными мастерами. Здесь учатся около 500 детей в возрасте от 6 до 18 лет со всех уголков мира, представители разных национальностей и вероисповеданий. В такой поликультурной среде [13] закладывается прочный фундамент к формированию стабильного межэтнического взаимодействия на высоком уровне толерантности, которое обеспечивает гуманистический характер взаимоотношений с обществом и миром в целом. Школьный комплекс, созданный в центре тропического леса живописного острова Бали, на холмистой местности, как бы утопает в окружающей природе. Решением архитектурно-художественного образа стали очертания окружающего ландшафта, что позволило авторам проекта гуманно подойти к взаимодействию с природной средой,

сохраняя ее первозданный образ и ярко выразить архитектурный стиль. Выполненный в тропическом стиле, комплекс имитирует рисунок холмистого пейзажа и максимально органично вписывается в окружающий ландшафт (рисунок 2).



Рисунок 2. Архитектурный образ школы Bali Green School повторяет очертания природного ландшафта

Уникальность объекта заключается в использовании во всех его строениях местного растения бамбук, который, обладая жесткостью, гибкостью, экологичностью и эстетичностью [14], применяется как основной строительный материал в несущих конструкциях. Главной конструктивной задачей строения из бамбука, помимо достижения эстетики формы, является защита от осадков и проветривание в условиях тропического климата. В сетчатой оболочке конструктивной системы комплекса стропила установлены вдоль карниза, тем самым защищая от ветра и дождя. Бамбук используют в качестве второстепенного материала в виде ограждающих конструктивных элементов, в оформлении интерьеров помещений, только в покрытии кровли для защиты используются пучки известной когоновой травы («сogongrass»).

Необходимо отметить, что бамбук, являясь одним из наиболее доступных строительных материалов для тропического климата, сегодня активно используется для изготовления балок, колонн, крыш, ламинированных плит и внутренней отделки по всей Индонезии. Прочность бамбука, подвергшегося процессу замачивания, достигает 100 лет [15]. Этот природный материал собирают с плантаций вокруг территории школьного комплекса, а затем, в целях устойчивости окружающей среды, повторно происходит посадка растения. Учитывая, что это один из самых быстрорастущих растений в мире, можно утверждать о его экономической выгоде. Бамбук, обладая такими прекрасными свойствами, уже в будущем может использоваться как более совершенный строительный материал, заменяя древесину [16], и способен предоставить творческую свободу выражения архитектурно-художественным и конструктивным решениям.

Таким образом, бамбук, имея экологическую и художественно-техническую ценность в воплощении смелых идей архитектурного формообразования, конструкций (опоры, фермы, перекрытия) и элементов дизайна интерьера, становится главным строительным материалом в создании школьного кампуса на Бали (рисунок 3).

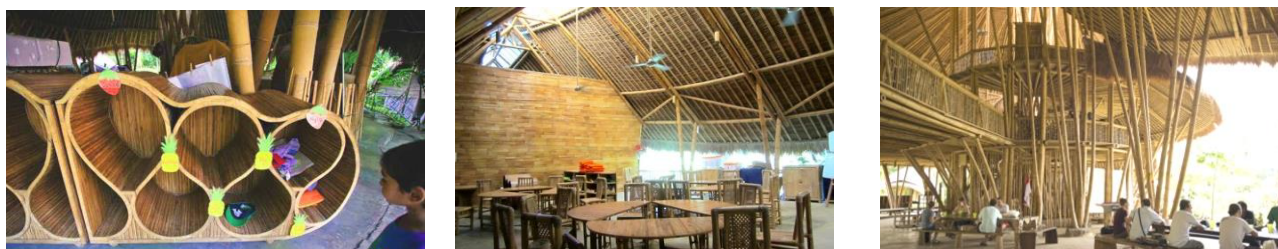


Рисунок 3. Бамбук - главный материал в опорах, фермах, перекрытиях и элементах интерьера школы Bali Green School

Принцип идентичности в устойчивой архитектуре. Идентичность в данной работе трактуется как обращение к глубинным истокам региональной архитектуры [17], которое способствует гуманному отношению личности к культуре места.

Если эту категорию рассматривать с точки зрения социологии, то, как результат процесса социализации личности, формируется новая социальная идентичность. В этой трактовке идентичность выступает в качестве одного из механизмов социализации личности, где личность отождествляет себя с другими людьми, группой, сообществом, т.е. человек на фоне усвоения общих установок и стандартов сообщества, успешно с ним взаимодействует, отражая и разделяя его ценности, т.е. социализируется [18].

Так, в данной работе понятие «идентичность» характеризуется с точки зрения приобретения навыков, духовных ценностей посредством практического приобщения младшего поколения к процессам, направленные на «формирование новой системы мышления, на изменения мировоззрения, стиля и в целом образа жизни» [19], то есть через создание духовно-культурной, экологически комфортной среды, с сохранением исходного характера местного ландшафта архитектура способна обеспечить гармоничные отношения с окружением, формируя процесс восприятия человеком окружающей среды, а значит и идентичность.

Задача архитекторов, подходя с позиции идентичности, состоит в раскрытии и возрождении культурных традиций региона, культурных свойств окружающей природы, природного ландшафта посредством воплощения в архитектурных образах, конструкциях, пространственных решениях тех культурных характеристик, заложенные в природе данной местности.

В этой связи школьное здание Bali Green School тому подтверждение. Индонезийский проект стал примером традиционной архитектуры и строительства из бамбука, в основе которого содержится широко распространенное искусство местного народа – плетение и резьба по дереву. Современный природный материал из бамбука, умело использованный местными мастерами, послужил не только предметом творческого замысла в виде формообразования и конструктивных элементов комплекса [20], но и в значительной степени включен в предметы интерьера ручной работы, олицетворяя культуру местных жителей.

Так, по словам создателей этого проекта Джона и Синтии Харди [21], школьный комплекс из бамбука - больше, чем архитектура. Архитектура школы, сохраняя исходную

красоту природного окружения, богатую культуру местности, тем самым, сохраняет душу волшебного острова.

Принцип пермакультуры. В основе пермакультуры лежит система самообеспечения поселения, эффективная система архитектурно-пространственной организации территории и устойчивого ведения сельского хозяйства с учетом: местных культурных традиций (т.е. балийские фермеры десятилетиями внедряют принципы пермакультуры в практику сельского хозяйства); органических условий землепользования (т.е. без глубокой обработки почвы, без применения минеральных удобрений и ядохимикатов). Основной задачей пермакультуры является сохранение плодородия почв, восполнение биоразнообразия и, как следствие, получение экологически безопасных продуктов [22].

В учебном заведении действует своя ферма, где все продукты и отходы, производимые каждым ее элементом, начиная с органического сада и заканчивая питомниками для животных, компостными помещениями, резервуарами для воды и т.д., обеспечивают устойчивый способ организации жизнедеятельности.

Пермакультура, являясь важной составляющей в системе воспитания и практического обучения школьников школы Bali Green School, формирует полезные экологические навыки, а также заботливое отношение к Земле, к людям и к миру природы в целом. Пермакультура – это такие методы и приемы архитектурно-планировочной организации сельскохозяйственных территорий, которые полностью направлены на поддержание естественного агробиоразнообразия и природной эстетики путем создания замкнутой самофункционирующей системы ведения сельского хозяйства и эффективного взаимодействия всех элементов производственной среды.

В школе на Бали практикуется так называемая программа «неделя Земли», где одной из тем является посадка различных видов растений, в частности, бамбука (около 30 000 ростков в год), в специально отведенных для этого участках-плантациях, расположенных на территории школы (рисунок 4).



Рисунок 4. Индонезийская школа Bali Green School в аспекте устойчивого развития – программа «Неделя Земли»

Принцип открытости образовательного пространства. Сегодня «открытая модель» [23] образования предполагает, с точки зрения философского подхода, открытость образования будущему, т.е. включение в процессы образования представлений об открытости мира, целостности и взаимосвязанности человека, природы и общества.

В нашем понимании открытое образовательное пространство как новое качество школьной среды включает следующие составляющие: познавательную свободу - открытость функциональных зон в школе Bali Green School, которая выражается любопытством к познанию мира, формированием чувства сопричастности к жизни школы и взаимодействием с окружающей средой через открытые или прозрачные границы функциональных зон; функционально-планировочную свободу, которая подразумевает многоцелевое использование учебных классов (в зависимости от типа занятий) и возможность выбора для каждого ученика места для досуга; взаимосвязь природы с образовательным пространством – открытые пространственные объемы комплекса решаются без стен и сливаются с природой.

Одним из востребованных составляющих в организации современного зонирования школы является способность к трансформации учебных помещений, которая включает различные комбинации расстановки мебели в зависимости от поставленных задач обучения. Это могут быть групповые, индивидуальные занятия, различные мастер-классы (в частности, в школе активно внедрена программа обучения по устойчивому развитию), дискуссии и презентации. В учебном заведении Bali Green School также есть прекрасная возможность выбора места для досуга и отдыха, что составляет важную составляющую в аспекте эмоционально-психологического комфорта пребывания всех участников процесса (рисунок 5).



Рисунок 5. Принцип открытости образовательного пространства.
Функционально-планировочная вариативность пространственной среды школы
Bali Green School

Принцип экологического благополучия. В качестве экологического благополучия учащихся выступает «феномен природной среды» [24], который определяет гармоничное взаимодействие с внешним окружением и находит отражение в культуре диалога с природой. Экологическое благополучие Bali Green School характеризуется в ее качественном экологически устойчивом функционировании. Технологии экологичности, энерго- и ресурсосбережения в школе осуществляются следующим образом:

- источником питьевой воды является скважина, глубиной в 60 метров, и вода дополнительно проходит систему биофильтрации, чтобы обеспечить качество воды и безопасность для здоровья;
- для производства энергии используют реку Аюнг, где на речном пороге построена вихревая гидроэлектростанция;

– энергия также вырабатывается с помощью установки солнечной фотоэлектрической системы, на которой закреплены 118 солнечных панелей (рисунок 6);

– в школе действует замкнутая система управления отходами. Это компостная станция, которая включает четыре потока переработки для получения органического материала в качестве удобрения для садов пермакультуры [25]: пищевые, отходы жизнедеятельности человека, промышленные и офисные.



Рисунок 6. Фотоэлектрическая система со 118-тью солнечными панелями в школьном комплексе Bali Green School

Заключение

В свете вышесказанного, в аспекте новых тенденций проектирования школьных зданий авторами выдвигаются принципы формирования устойчивой архитектуры, которые легли в основу создания архитектуры школы Bali Green School:

– *принцип интегрированности архитектуры* демонстрирует новаторский подход в освоении территории, когда природа становится главной идейной составляющей в решении художественного образа Bali Green School; использование бамбука во всех строениях школы дает возможность свободно выразить архитектурные, конструктивные и дизайнерские решения, тем самым, школьный объект полностью интегрируется в существующий ландшафт, обеспечивая экологическую устойчивость среды;

– *принцип идентичности в устойчивой архитектуре* выражается путем использования традиционных методов строительства на основе культуры ремесла местных мастеров, в частности, касающейся обработки бамбука; в сохранении и поддержании целостности качества окружающей природы бамбук используется как главный строительный материал в элементах интерьера, в конструкциях, покрытиях и т.д. Таким образом, через восприятие человеком предметно-пространственной среды, через его ощущение принадлежности к месту обитания, культуре, к обществу, к природе формируется идентичность в архитектуре;

– *принцип пермакультуры* состоит в эффективном архитектурно-градостроительном планировании территории школы (с учетом воды, солнца, почвы, ветра) для организации ведения традиционных методов сельского хозяйства и органического производства продуктов жизнедеятельности в структуре школы, которые отвечают за устойчивое развитие среды. Создание благоприятных условий каждого структурного элемента пермакультурной фермы (водоемы, сады, питомники, компостные станции

и т.д.) способствует устойчивому развитию; у участников образовательного процесса приобретаются важные навыки бережного отношения к Земле, к себе, к природе;

– принцип открытости образовательного пространства демонстрирует открытую образовательную среду с организацией гибкой планировочной структуры за счет открытых пространств (школа Bali Green School без стен) и плавных переходов между всеми функциональными зонами. Таким образом, поддерживается устойчивая взаимосвязь с природным окружением, интегрирует человека с природной средой, создает комфортные условия для успешной социализации и саморазвития гармоничной личности;

– принцип экологического благополучия обеспечивается следующими инструментами: электричество вырабатывается с помощью гидроэлектростанции, построенной на реке Аюнг, а также солнечными панелями; источником воды является скважина на глубине 60 м. с дополнительной системой фильтрации; внедрена замкнутая система управления отходами для уменьшения загрязнения окружающей среды в политике достижения экологической устойчивости среды.

Таким образом, «зеленый» проект Bali Green School демонстрирует новые подходы и инновации в аспекте создания школы нового типа, в основе которой содержится комплексная модель на пути к устойчивой жизни в целом, выражающая новое осмысление в дальнейшем совершенствовании архитектуры образовательных учреждений XXI века.

Вклад авторов

Тойшиева А.А. – концепция, идея, модель и дизайн исследования, сбор и анализ данных, интерпретация результатов работы, написание текста, критический пересмотр его содержания, утверждение окончательной версии.

Садыкова С.Ш. – анализ, критический обзор содержания.

Жаксылыкова Л.А. – критический обзор содержания.

Саурбаева А.М. – критический обзор содержания.

Сералин А.С. – критический обзор его содержания, утверждение окончательного варианта статьи для публикации.

Список литературы

1. Барабаш М.В. Системный подход к процессу формирования архитектурной среды школьных зданий // Известия высших учебных заведений. Северо-Кавказский регион. Общественные науки. – 2015. - №2. – С. 129-133. URL: <https://lib.rucont.ru/efd/412357/info>

2. Поздняков А.Л., Позднякова Е.В., Скрипкина Ж.В., Ефанова Т.А. Тенденции и принципы проектирования современных образовательных школ // Известия Юго-Западного государственного университета. – 2018. - №6(81). – С. 72-80. – DOI: <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2018-22-6-72-80>

3. Шакиров А.Д. О концепции устойчивого развития и ее принципах // Ученые записки Казанского университета. Серия: Гуманитарные науки. – 2011. - №1. – С. 217-225. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16347437>

4. Аракелов А.В., Алиева М.Ф. Система образования в условиях глобализации // Вестник АГУ. Серия: Социология. – 2014. - №4(148). – С. 94-102. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-obrazovaniya-v-usloviyah-globalizatsii/viewer>
5. Антоненко М.В. Обучение без границ // Международный научно-исследовательский журнал. Серия: Технические науки. – 2016. - №1(43). – С. 122-124. - DOI: <https://doi.org/10.18454/irj.2016.43.087>
6. Миндер А.В., Вакулич Н.А. Урбанизация и экология городской среды // Географические исследования в контексте социально-географического развития регионов. – Грозный: Чеченский государственный университет им. А.А. Кадырова, 2023. – С. 244-246. DOI: <https://doi.org/10.36684/96-1-2023-244-246>
7. Майснер Т.Н. «Зеленая» экономика как фактор устойчивого экологического развития современного города // Вестник Южно-российского государственного технического университета. Серия: Социально-экономические науки. – 2022. – Т. 14. №6. - С. 246-256. DOI: <https://doi.org/10.17213/2075-2067-2021-6-246-256>
8. Беккер И.Л., Мельникова Е.А. Современные особенности социальной адаптации младших школьников // Известия Пензенского государственного педагогического университета им. В.Г.Белинского. – 2008. - №10. – С. 131-134. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11728372>
9. Ильвицкая С.В., Михайлова И.В. Устойчивая архитектура как вектор развития в проектировании дошкольных образовательных организаций // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. – 2020. - №22(6). – С. 61-69. DOI: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2020-22-6-61-69>
10. Kulsum Fatima. Sustainable and Resilient Architecture: Prioritizing Climate Change Adaptation // Civil Engineering and Architecture. 2024. - Vol. 12.- No. 1. - P. 577-585. DOI: <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120141>
11. Чечель И.П., Чечель И.Н. Новые тенденции проектирования и дизайна школ в различных странах // Техническая эстетика и дизайн-исследования. - 2019. – Т.1. №3.- С. 19-29. DOI: <https://doi.org/10.34031/2687-0878-2019-1-3-19-29>
12. Сытник В.М. Взаимосвязь природы и архитектуры в японской культуре: философские аспекты // Вестник Бурятского государственного университета. - 2015. - №14. - С 127-131. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24414417>
13. Сербина Л.Ф. Особенности формирования межэтнического взаимодействия в поликультурной образовательной среде // Евразийский союз ученых. - 2015. - №4-6 (13). – С. 127-129. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27474701>
14. Соланилья Медина Й.М. Архитектурное проектирование из бамбука как экологического альтернативного материала XXI века // Архитектура и современные информационные технологии. - 2018. - №1(42). - С. 201-211. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32421314>
15. Farrelly D. The Book of Bamboo san Francisco CA. - Sierra Club Books. - 1984. – 332 p. URL: https://openlibrary.org/books/OL2843401M/The_book_of_bamboo
16. Lianto F., Trisno R., Husin D. and Teh S.W. Changing the face of modern architecture: bamboo as a construction material. Case study: Green school, Bali – Indonesia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Tarumanaqara International Conference on the Application of Technology and Engineering. – Jakarta, Indonesia. - 2018. – V. 508. P. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/508/1/012023>

17. Есаулов Г.В. Об идентичности в архитектуре и градостроительстве // Академия. Архитектура и строительство. - 2018. - №4, С. 12-18. DOI: <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2018-4-12-18>
18. Пименова О.И. Понятие социальной идентичности в системе социологических категорий // Культура, личность, общество в современном мире: методология, опыт эмпирического исследования: статья в сборнике XVIII международной конференции памяти проф. Л.Н.Когана. - 2015. - С.457-466. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27504882>
19. Шалгынбаев С.Т. Концепция устойчивого развития в образовательных программах // Вестник Российского университета дружбы народов. Серия: Экология и безопасность жизнедеятельности. - 2005. - №1(11). - С.21-25. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11725338>
20. Соланилья Медина Й.М. Особенности традиционной архитектуры и строительства из бамбука в странах с жарким климатом // Architecture and Information Technologies. - 2019. - №3(48). - С. 175-184. URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/3kvart19/PDF/13_solanilja.pdf
21. Green School. A School Beyond the Boundaries of the Bamboo Campus. [Электронный ресурс]. 2021. - URL: <https://www.greenschool.org/bali/environment/> (дата обращения: 13.02.2024)
22. Фурманова О.А. Принципы пермакультуры в ландшафтной организации современной органической фермы // Практика. - 2021. - С. 180-183. DOI: <https://doi.org/10.24412/cl-35672-2021-1-0037>
23. Зубарева К.А. Открытость как феномен современного образования // Педагогическое образование в России. Серия: Философия образования. - 2012. - №3. С. 6-10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otkrytost-kak-fenomen-sovremennogo-obrazovaniya/viewer>
24. Панюкова Ю.Г., Панюков А.И. Организация пространства школы как фактор психологического благополучия учащихся: обзор современных зарубежных исследований // Современная зарубежная психология. - 2022. - Т. 11. №3. - С. 49-60. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2022110305>
25. Green School. A School Beyond the Boundaries of the Bamboo Campus. [Электронный ресурс]. 2021. - URL: <https://www.greenschool.org/bali/environment/> (дата обращения: 10.02.2024).

А.А. Тойшиева*¹, С.Ш.Садыкова¹, Л.А. Жаксылыкова¹, А.М. Саурбаева¹, А.С. Сералин²

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

²М.Х. Дулати атындағы Тараз өңірлік университеті, Тараз қ., Қазақстан

Білім беру мектебінің тұрақты архитектурасын қалыптастыру принциптері (Бали аралындағы Индонезия мектебінің мысалында)

Аңдатпа. XXI ғасырда тұрақты даму тұжырымдамасы адамзаттың болашағын дамытудың іргелі негіздерінің бірі ретінде енгізілді. Тұрақтылық стратегиясы бүгінгі күнде кеңірек түсініледі және де өмірдің барлық аспектілеріне, соның ішінде білім беру саласы енеді. Өркениеттің жаһандық қауіптері бүгінде жаһандық экономикалық, демографиялық, әскери-саяси, экологиялық және әлеуметтік-мәдени процестерді көрсетеді, өз кезегінде жас ұрпақтың әлеуметтенуі мен бейімделу мәселелерін тудырады. Алдын алу даму механизмдерін жан-жақты және кеңінен қолданбай қазіргі қалыптасқан жағдайдан шығу мүмкін емес. Әрине,

осындай озық механизмдердің бірі білім беру саласы болса, атап айтқанда, мектептердің сәулеті. Осыған байланысты білім беру ортасын құрудағы әрекет ететін және негізгі ресурсы болатын сәулет, өз барысында, өзгеріп және сапалы жаңа деңгейге өтуді қажет етеді. Зерттеудің өзектілігі негізінен білім беру ортасының барлық процестерінің тұрақты жұмыс істеуін және экологиялық жайлы ортаны қамтамасыз ететін, заманауи мектептерді жобалауда осындай жаңа сәулет-қала құрылысы принциптерін қолдану қажеттілігімен анықталады. Жұмыста мектептің тұрақты архитектурасын қалыптастыру тәжірибесін зерделеу мен талдау жүргізілді, ондағы Индонезияның Bali Green School кешенінің (Бали аралы) мысалында тұрақты архитектураны құрудың оң тәжірибесі ұсынылды. Ғылыми әдебиеттерді зерттеу әдістемесінде зерттеу тақырыбын толық ашу мақсатында жұмыс авторлары жаратылыстану, гуманитарлық және әлеуметтік ғылымдарға – экология, психология, философия, педагогика және микробиологияға жүгінеді. Нәтижесінде бес қағида ерекшеленді: сәулет пен табиғатты біріктіру принципі; архитектурадағы сәйкестік принципі; пермамәдениет принципі; білім беру кеңістігінің ашықтық принципі; экологиялық салауаттылық принципі.

Түйін сөздер: тұрақтылық, мектеп ғимараты, тұрақты сәулет, табиғат, экология, сәйкестік, пермамәдениет.

A.A.Toishiyeva¹, S.Sh.Sadykova¹, L.A.Zhaksylykova¹, A.M.Saurbayeva¹, A.S.Seralin²

¹*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Republic of Kazakhstan*

²*M.H. Dulati Taraz Regional University, Taraz, Kazakhstan*

Principles for the formation of sustainable architecture of an educational school (using the example of an Indonesian school on the island of Bali)

Abstract. In the 21st century, the concept of sustainable development has become a key foundation for humanity's future growth. The sustainability strategy is now broadly understood and influences all aspects of life, including education. Global threats to civilization, including economic, demographic, military-political, environmental, and socio-cultural processes, present significant challenges in socialization and adaptation for the younger generation. It is no longer possible to address these issues without the comprehensive and extensive use of preventive development mechanisms. Undoubtedly, one such crucial mechanism is the sphere of education, particularly the architecture of schools. Therefore, architecture, as a key resource in education, must evolve to a new level. The research's relevance lies in the need to apply new architectural and urban planning principles in designing modern schools that ensure an ecologically comfortable and sustainable educational environment. The study analyzes the creation of sustainable school architecture, using the Bali Green School in Indonesia as a positive example of successful implementation. To thoroughly explore the research topic, the authors utilize insights from natural, human, and social sciences, including ecology, psychology, philosophy, pedagogy, and microbiology. The study identifies five key principles: integrating architecture with nature, architectural identity, permaculture, openness in educational spaces, and environmental well-being.

Keywords: sustainable development, school building, sustainable architecture, nature, ecology, identity, permaculture.

References

1. Barabash M.V. Sistemnyj podhod k processu formirovaniya arhitekturnoj sredy shkolnyh zdaniy [System approach to the process of forming the architectural environment of school buildings] // Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij. Severo-Kavkazskij region. Obshestvennye nauki. – 2015. - №2. – S. 129-133. URL: <https://lib.rucont.ru/efd/412357/info> [in Russian].
2. Pozdnyakov A.L., Pozdnyakova E.V., Skripkina Zh.V., Efanova T.A. Tendencii i principy proektirovaniya sovremennyh obrazovatelnyh shkol [Trends and principles of designing modern educational schools] // Izvestiya Yugo-Zapadnogo gosudarstvennogo universiteta. – 2018. - №6(81). – S. 72-80. – DOI: <https://doi.org/10.21869/2223-1560-2018-22-6-72-80> [in Russian].
3. Shakirov A.D. O koncepcii ustojchivogo razvitiya i ee principah [On the concept of sustainable development and its principles] // Uchenye zapiski Kazanskogo universiteta. Seriya: Gumanitarnye nauki. – 2011. - №1. – S. 217-225 . URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=16347437> [in Russian].
4. Arakelov A.V., Alieva M.F. Sistema obrazovaniya v usloviyah globalizatsii [Education system in a globalizing world] // Vestnik «AGU». Seriya: Sociologiya. – 2014. - №4(148). – S. 94-102. - URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-obrazovaniya-v-usloviyah-globalizatsii/viewer> [in Russian].
5. Antonenko M.V. Obuchenie bez granic [Learning without boundaries] // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal // Mezhdunarodnyj nauchno-issledovatel'skij zhurnal. Seriya: Tehnicheskie nauki. – 2016. - №1(43). – S. 122-124. - DOI: <https://doi.org/10.18454/irj.2016.43.087> [in Russian].
6. Minder A.V., Vakulich N.A. Urbanizatsiya i ekologiya gorodskoj sredy [Urbanization and ecology of the urban environment] // Geograficheskie issledovaniya v kontekste socialno-geograficheskogo razvitiya regionov. – Groznyj: Chechenskij gosudarstvennyj universitet im. A.A. Kadyrova, 2023. – S. 244-246. DOI: <https://doi.org/10.36684/96-1-2023-244-246> [in Russian].
7. Majsner T.N. «Zelenaya» ekonomika kak faktor ustojchivogo ekologicheskogo razvitiya sovremennogo goroda [«Green» economy as a factor of sustainable environmental development of the modern city] // Vestnik Yuzhno-rossijskogo gosudarstvennogo tehničeskogo universiteta . Seriya: Socialno-ekonomicheskie nauki. – 2022. – T. 14. №6. - S. 246-256. DOI: <https://doi.org/10.17213/2075-2067-2021-6-246-256> [in Russian].
8. Bekker I.L., Melnikova E.A. Sovremennye osobennosti socialnoj adaptatsii mladshih shkolnikov [Modern peculiarities of social adaptation of junior schoolchildren] // Izvestiya Penzenskogo gosudarstvennogo pedagogicheskogo universiteta im. V.G.Belinskogo. – 2008. - №10. – S. 131-134. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11728372> [in Russian].
9. Ilvickaya S.V., Mihajlova I.V. Ustojchivaya arhitektura kak vektor razvitiya v proektirovanii doshkolnyh obrazovatelnyh organizacij [Sustainable architecture as a vector of development in the design of preschool educational organizations] // Vestnik Tomskogo gosudarstvennogo arhitekturno-stroitel'nogo universiteta. – 2020. - №22(6). – S. 61-69. DOI: <https://doi.org/10.31675/1607-1859-2020-22-6-61-69> [in Russian].
10. Kulsum Fatima. Sustainable and Resilient Architecture: Prioritizing Climate Change Adaptation // Civil Engineering and Architecture. 2024. - Vol. 12.- No. 1. - P. 577-585. DOI: <https://doi.org/10.13189/cea.2024.120141>
11. Chechel I.P., Chechel I.N. Novye tendencii proektirovaniya i dizajna shkol v razlichnyh stranah [Emerging trends in school planning and design in different countries] // Tehnicheskaya estetika i dizajn-issledovaniya. - 2019. – T.1. №3.- S. 19-29. DOI: <https://doi.org/10.34031/2687-0878-2019-1-3-19-29> [in Russian].

12. Sytnik V.M. Vzaimosvyaz prirody i arhitektury v yaponskoj kulture: filosofskie aspekty [The Relationship between Nature and architecture in Japanese culture: philosophical aspects] // Vestnik Buryatskogo gosudarstvennogo universiteta. - 2015. - №14. - S 127-131. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=24414417> [in Russian].

13. Serbina L.F. Osobennosti formirovaniya mezhetnicheskogo vzaimodejstviya v polikulturnoj obrazovatelnoj srede [Features of the formation of interethnic interaction in a multicultural educational environment] // Evrazijskij soyuz uchenyh. - 2015. - №4-6 (13). - S. 127-129. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27474701> [in Russian].

14. Solanilya Medina J.M. Arhitekturnoe proektirovanie iz bambuka kak ekologicheskogo alternativnogo materiala XXI veka [Architectural design of bamboo as an ecological alternative material of the XXI century] // Arhitektura i sovremennye informacionnye tehnologii. - 2018. - №1(42). - S. 201-211. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=32421314> [in Russian].

15. Farrelly D. The Book of Bamboo san Francisco CA. - Sierra Club Books. - 1984. - 332 p. URL: https://openlibrary.org/books/OL2843401M/The_book_of_bamboo

16. Lianto F, Trisno R., Husin D. and Teh S.W. Changing the face of modern architecture: bamboo as a construction material. Case study: Green school, Bali – Indonesia // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. Tarumanaqara International Conference on the Application of Technology and Engineering. – Jakarta, Indonesia. - 2018. – V. 508. P. 1-8. DOI: <https://doi.org/10.1088/1757-899X/508/1/012023>

17. Esaulov G.V. Ob identichnosti v arhitekture i gradostroitelstve [On identity in architecture and urban planning] // Akademiya. Arhitektura i stroitelstvo. - 2018,. - №4, S. 12-18. DOI: <https://doi.org/10.22337/2077-9038-2018-4-12-18> [in Russian].

18. Pimenova O.I. Ponyatie socialnoj identichnosti v sisteme sociologicheskikh kategorij [The concept of social identity in the system of sociological categories] // Kultura, lichnost, obshestvo v sovremennom mire: metodologiya, opyt empiricheskogo issledovaniya: Statya v XVIII Mezhdunorodnoj konferencii pamyati prof. L.N.Kogana. – 2015. – S.457-466. URL: <https://elibrary.ru/item.asp?id=27504882> [in Russian].

19. Shalgynbaev S.T. Koncepciya ustojchivogo razvitiya v obrazovatelnyh programmah [The concept of sustainable development in educational programs] // Vestnik Rossijskogo universiteta Druzhby narodov. Seriya: Ekologiya i bezopasnost zhiznedeyatelnosti. – 2005. - №1(11). – S. 21-25. URL: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=11725338> [in Russian].

20. Solanilya Medina J.M. Osobennosti tradicionnoj arhitektury i stroitelstva iz bambuka v stranah s zharkim klimatom [Features of traditional bamboo architecture and construction in countries with hot climates] // Architecture and Information Technologies. – 2019. - №3(48). – S. 175-184. URL: https://marhi.ru/AMIT/2019/3kvart19/PDF/13_solanilja.pdf [in Russian].

21. Green School. A School Beyond the Boundaries of the Bamboo Campus. [Elektronnyj resurs]. 2021. - URL: <https://www.greenschool.org/bali/environment/> (data obrasheniya: 13.02.2024)

22. Furmanova O.A. Principy permakultury v landshaftnoj organizacii sovremennoj organicheskoy fermy [Permaculture principles in the landscape organization of a modern organic farm] // Praktika. – 2021. – S. 180-183. DOI: <https://doi.org/10.24412/cl-35672-2021-1-0037> [in Russian].

23. Zubareva K.A. Otkrytost kak fenomen sovremennogo obrazovaniya [Openness as a phenomenon of modern education] // Pedagogicheskoe obrazovanie v Rossii. Seriya: Filosofiya obrazovaniya. –

2012. - №3. S. 6-10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/otkrytost-kak-fenomen-sovremennogo-obrazovaniya/viewer> [in Russian].

24. Panyukova Yu.G., Panyukov A.I. Organizaciya prostranstva shkoly kak faktor psihologicheskogo blagopoluchiya uchashihsya: obzor sovremennyh zarubezhnyh issledovaniy [Organization of school space as a factor of psychological well-being of students: a review of modern foreign studies] // Sovremennaya zarubezhnaya psihologiya. – 2022. – Т. 11. №3. - S. 49-60. DOI: <https://doi.org/10.17759/jmfp.2022110305> [in Russian].

25. Green School. A School Beyond the Boundaries of the Bamboo Campus. [Elektronnyj resurs]. 2021. - URL: <https://www.greenschool.org/bali/environment/> (data obrasheniya: 10.02.2024)

Сведения об авторах:

Тойшиева А.А. – автор для корреспонденции, почетный архитектор РК, и.о. доцента, кафедра «Архитектура», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 10000 Республика Казахстан г. Астана, ул. Кажымухана, 13, учебный корпус №6, E-mail: almagul7@inbox.ru

Садыкова С.Ш. – кандидат архитектуры, ассоциированный профессор (доцент), кафедра «Архитектура», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 10000 Республика Казахстан г. Астана, ул. Кажымухана, 13, учебный корпус №6, E-mail: sara.arch@mail.ru

Жаксылыкова Л.А. – почетный архитектор РК, и.о. доцента, магистр по специальности «Архитектура», кафедра «Архитектура», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 10000 Республика Казахстан г. Астана, ул. Кажымухана, 13, учебный корпус №6, E-mail: Sara.zhaksylykova@mail.ru

Саурбаева А.М. – PhD, заведующий кафедрой «Архитектура», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, 10000 Республика Казахстан г. Астана, ул. Кажымухана, 13, учебный корпус №6, E-mail: saurbayeva_am_1@enu.kz

Сералин А.С. – преподаватель, магистр по специальности «Землеустройство», Институт Водного хозяйства и гармонизации с природой, отдел «Землеустройства и кадастра», 080012 Республика Казахстан, г. Тараз, ул. Сулейменова, №7, E-mail: aikajan-1990@mail.ru

Тойшиева А.А. – Қазақстан Республикасының құрметті сәулетшісі, доцент м.а., "Сәулет" кафедрасы, Сәулет-құрылыс факультеті, Еуразия ұлттық университеті. Л. Н. Гумилева, 10000 Қазақстан Республикасы Астана қ., Қажымұқан к-сі, 13, №6 оқу ғимараты, E-mail: almagul7@inbox.ru

Садыкова С.Ш. – Сәулет ғылымдарының кандидаты, Associate Professor (Associate Professor), "Сәулет" кафедрасы, Сәулет-құрылыс факультеті, Еуразия ұлттық университеті сәулет-құрылыс факультеті, сәулет кафедрасының доценті, Л.Н. Гумилев, 10000 Қазақстан Республикасы, Астана қ., көш. Қажымұқана, 13, №6 оқу ғимараты, E-mail: sara.arch@mail.ru

Жақсылықова Л.А. – Қазақстан Республикасының құрметті сәулетшісі, доцент м.а., "Сәулет" мамандығы бойынша магистр, "Сәулет" кафедрасы, Сәулет-құрылыс факультеті, Еуразия ұлттық университеті. Л.Н. Гумилева, 10000 Қазақстан Республикасы Астана қ., Қажымұқан к-сі, 13, №6 оқу ғимараты, E-mail: Sara.zhaksylykova@mail.ru

Саурбаева А.М. – "Сәулет" кафедрасының меңгерушісі, доктор PhD, "Сәулет" кафедрасы, Сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, 10000 Қазақстан Республикасы Астана қ., Қажымұқана көш., 13, №6 оқу ғимараты, E-mail: saurbayeva_am_1@enu.kz

Сералин А.С. – «Жерге орналастыру» мамандығының оқытушысы, магистрі, Су шаруашылығы және табиғатқа үйлестіру институты, «Жер ресурстарын басқару және кадастр» бөлімі, 080012 Қазақстан Республикасы, Тараз қаласы, Сүлейменов көшесі, № 7, , E-mail: aikajan-1990@mail.ru

Toishiyeva Almagul Almaganbetovna – Honorary Architect of the Republic of Kazakhstan, Acting Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 10000 Republic of Kazakhstan, Astana, st. Kazhymukhana, 13, educational building No. 6, E-mail: almagul7@inbox.ru

Sadykova Sara Shangereevna – Candidate of Architecture, Associate Professor, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 10000 Republic of Kazakhstan, Astana, st. Kazhymukhana, 13, educational building No. 6, E-mail: sara.arch@mail.ru

Zhaksylykova Lailya Adilkhanovna – Honorary Architect of the Republic of Kazakhstan, Acting Associate Professor, Master's degree in Architecture, Department of Architecture, Faculty of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 10000 Kazhymukhana str., 13, Academic Building No.6, Astana, Republic of Kazakhstan, E-mail: Sara.zhaksylykova@mail.ru

Saurbayeva Assemgul Muratovna – Head of Department of Architecture, PhD, Department of Architecture, Architecture-Construction Faculty, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 10000 Republic of Kazakhstan, Astana, Kazymukhan Street, 13, Academic Building № 6, E-mail: saurbayeva_am_1@enu.kz

Seralin Aigerim Seralinovna – teacher, master's degree in Land Management, Institute of Water Management and Harmonization with Nature, Department of Land Management and Cadastre, 080012 Republic of Kazakhstan, Taraz, Suleimenov St., No. 7, E-mail: aikajan-1990@mail.ru



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



IRSTI 67.11.31

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-68-78>

Article

Experimental evaluation of the strength of the floor slab of a volume block

U.Altigenov¹, A.Bespaev², A.Tulebekova*¹, Ye.Zharkenov¹

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

²Kazakh research and design institute of construction and architecture investment (JSC "KazNIISA"), Almaty, Kazakhstan

(E-mail: krasavka5@mail.ru)

Abstract. Modular construction is a new method that uses standardized blocks to construct buildings quickly and efficiently. This approach can significantly reduce construction time and costs, as well as improve the accuracy and quality of work. One of the key aspects of modular construction is careful design and material selection to ensure that structures are durable and safe. The study presents an experimental evaluation of the strength of the floor slab of a volumetric block. The research methodology includes the creation of laboratory conditions to recreate real operational situations, as well as the application of modern methods of measurement and data analysis. The results obtained allow conclusions to be drawn on the strength characteristics of the floor slab, which showed that the experimental failure load exceeded the control failure load by 11%. The vertical deflections of the slab before failure did not exceed 8 mm, which characterizes the floor slab as having high stiffness. The information obtained is an important basis for designing and constructing buildings where volume block is used. The work significantly contributes to the efficiency of construction processes and provides more reliable structural performance, which is critically important in the field of construction industry and engineering solutions.

Keywords: volume blocks, floor slab, crack resistance, stiffness, strength, load.

Received 28.02.2024. Revised 21.08.2024. Accepted 06.09.2024. Available online 30.09.2024

Introduction

The current stage of development of large cities of the Republic of Kazakhstan is characterized by a change in the structure towards an increase in the share of multi-story buildings [1]. This is due to the urbanization of cities, the increase in the cost of land, and limited territories. At the same time, the main part of buildings is constructed with a height of 9 -16 floors, and some buildings are built with a height of 25 floors or more [2-3]. The trend of development of the construction industry allows us to assert that in the coming years, the height of individual representative buildings will approach 100 floors [3-4].

The experience of constructing buildings with higher stories in the developed countries of the world shows that they usually use a wall or frame-bonded structural system [5]. The increase in the number of stories of buildings causes an increase in the forces in load-bearing structures, which necessitates the use of high-strength materials. Currently, in Switzerland, France, USA, Sweden, Romania, FRG, and Czechoslovakia, the construction of buildings from volumetric blocks with the use of wood and metal is carried out [6]. In recent years, the volume-block (modular) construction of multi-story buildings has been revived in several European countries. The volume-block technology is based on manufacturing large parts of buildings in factory conditions with partial or full finishing [7-8]. It provides short construction terms, high-quality construction and installation works in factory conditions, and low cost of construction. Volumetric blocks are produced in three main types. The first type is "cap," which consists of four walls and a ceiling plate combined with a floor or molded floor plate.

The second type is "glass," which includes four walls and a floor plate. The third type is "lying glass," which comprises three walls, a floor, a ceiling plate, and an inserted facade panel. An important direction of ways to improve the efficiency of volume-block construction of multi-story buildings with increased floor area is the manufacture of volume blocks of expanded concrete, which reduces the calculated vertical loads, and reduces the need for cranes and vehicles with increased capacity.

In sustainability, literature acknowledges the potential benefits of volumetric blocks in reducing material waste, energy consumption, and construction time [9]. The modular nature of volumetric blocks allows for enhanced precision in fabrication, minimizing environmental impact and contributing to the growing interest in eco-friendly construction practices. Researchers explore how the incorporation of sustainable materials and construction methods within volumetric blocks can lead to environmentally conscious and resource-efficient building solutions.

Furthermore, the literature highlights the importance of computational modeling and simulation techniques in evaluating the performance of volumetric blocks. Advanced tools enable researchers to analyze structural behavior, predict load responses, and optimize designs before actual construction, thereby enhancing the reliability and safety of new structural solutions. This intersection of technology and structural engineering is a notable trend in current literature, indicative of a broader shift towards data-driven and digitally informed design processes.

Today, the development of new structural solutions for buildings requiring the study of the performance of volumetric blocks remains open. The study presents the evaluation of strength,

stiffness, and crack resistance of reinforced concrete floor slabs under the action of uniformly distributed vertical loads.

The methodology

The floor slab integrates the walls of the volume block into a single system and supports the variable (service) vertical load in the volume block room. These tests are designed to verify the floor slabs' strength, stiffness, and crack resistance under a uniformly distributed vertical load [10-11]. For this purpose, the volume block was placed on a rectangular pedestal with a height of about 1.8 m, constructed from foundation block tapes (Figures 1 and 2).

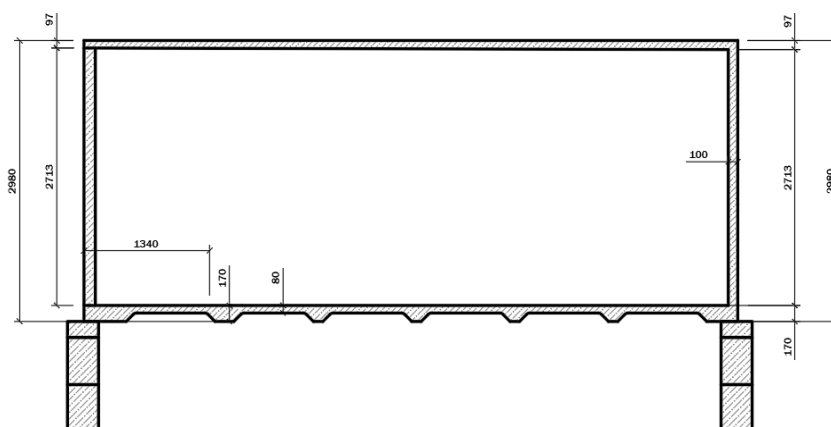


Figure 1. Scheme of the volume block on the pedestal

The volume block with dimensions 6980x3480x2980 mm is made of expanded clay concrete of strength class LC 20/22 (B20) density class $\rho = 800 \text{ kg/m}^3$. Inside the volume block, there is a reinforced concrete partition 70 mm thick of heavy concrete and two brick partitions 120 mm thick each. The floor slab is a coffered slab with an 80 mm thick shelf and 170 mm high ribs. The floor slab is reinforced with a mesh of reinforcing wire $\text{Ø}4 \text{ S}200\text{C}$ (Vr200) with 200x200 mm cells.



Figure 2. General view of the volumetric block on the pedestal

The longitudinal ribs of the floor slab with a width of 260 mm, 277 mm, and 330 mm are reinforced by vertical frames with longitudinal reinforcement of periodic profile 2Ø8 S500 (A-500C) and transverse bars Ø4 S400C (Vr40).

Transverse ribs with widths of 100 mm and 200 mm were reinforced with longitudinal reinforcement 3Ø8 S500 (A-500C) and transverse V-shaped bars Ø4 S200C (Vr200) with a spacing of 200 mm. The floor slab was loaded with small piece weights (bricks), the columns of which with dimensions of 500x500 mm were placed on a layer of sand in such a way as to exclude their mutual touching and formation of vaults (Figures 3, 4).

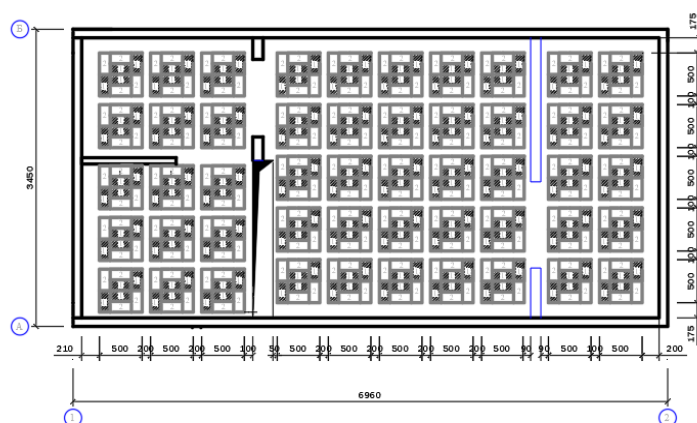


Figure 3. Scheme of brick columns on the floor slab



Figure 4. View of loading the floor slab with bricks

The floor slab was loaded in steps with a step size of not more than 5-10 % of the design vertical load. At variable (normative) vertical load, a soaking period of 1-2 hours (variable vertical load of 2 kN/m²) was performed. Thereafter, the increase in vertical load was continued until slab failure or undamped increase in deflections and excessive crack opening. In the process of loading, we measured vertical displacements with the help of deflection meters PAO-6 with the division value of 0.01 mm in the middle part of the span and on the supports and also recorded the picture of crack development with the measurement of crack opening width with the help

of microscope MPB-3 with the division value of 0.02 mm (Figure 5). Figure 6 shows a fragment of a concrete pedestal with deflection gauges and safety supports made of bricks [12].

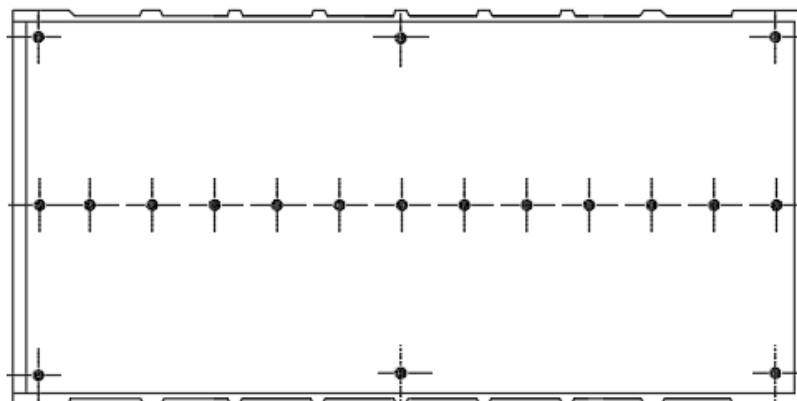


Figure 5. Layout of vertical deflection gauges



Figure 6. Fragment of a concrete pedestal

Findings/Discussion

Figure 7 shows a picture of the change in deflections of the middle part of the floor slab in the process of increasing the vertical load from 100 kgf/m² to 900 kgf/m², which has the form of a convex curve and illustrates the accelerated increase in deflections with increasing vertical load. The largest deflection of the slab at variable load $q_k = 200 \text{ kgf/m}^2$ was 0.6 mm, which is significantly less than the allowable deflection (at $f/l=1/200$ the allowable deflection is 15.6 mm).

Figure 8 shows the deflection diagram of the middle part of the floor slab, which confirms the accelerated increase in deflections with increasing vertical load, which indicates the flattening of the vertical displacement curve.

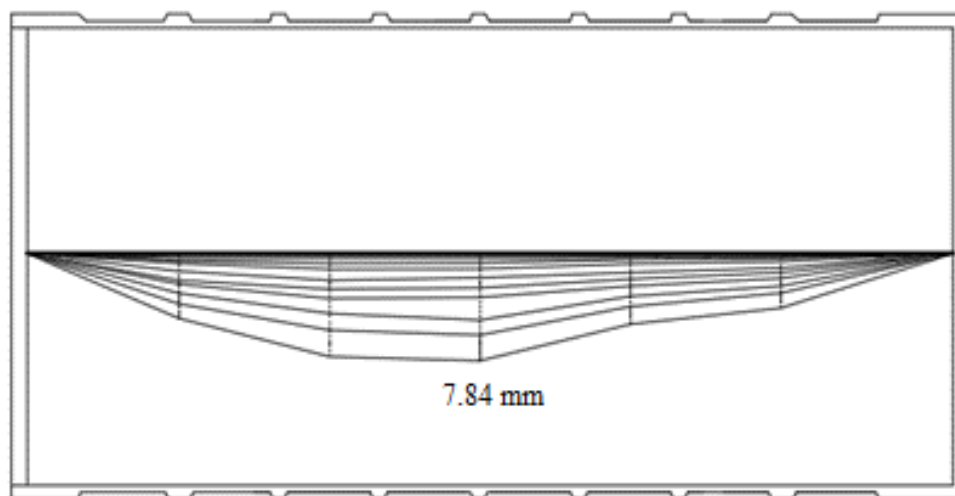


Figure 7. Vertical deflections of the middle part of the floor slab

At vertical load $q_k = 927 \text{ kgf/m}^2$ further loading of the floor slab was stopped and the slab rested on the safety support. Cracks in the floor slab appeared during the construction of brick partitions in the volume block and their opening width was 0.05-0.25 mm (Figure 9). At a vertical load value of 160 kg/m^2 , their opening width increased to 0.10-0.35 mm. Thus, the floor slab of the volume block has sufficient crack resistance. At the last stage of loading, normal cracks appeared in the middle ribs of the floor slab with an opening width of 0.10-0.20 mm and the floor slab fell on the safety support.

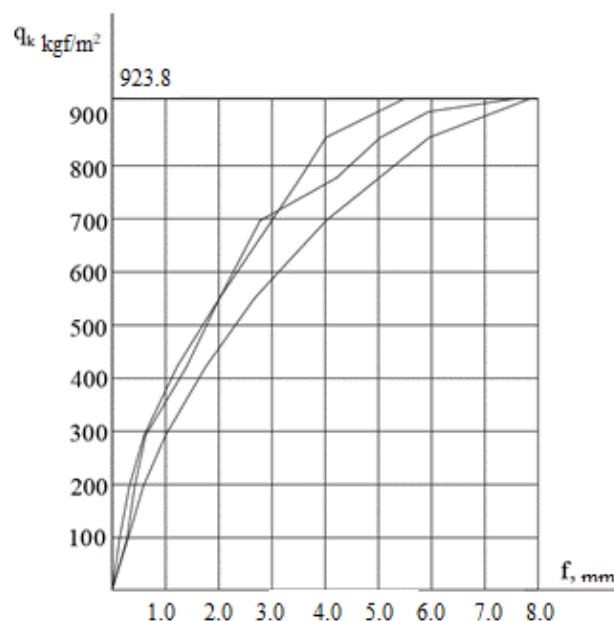


Figure 8. Diagrams of vertical displacements of the middle part of the floor slab

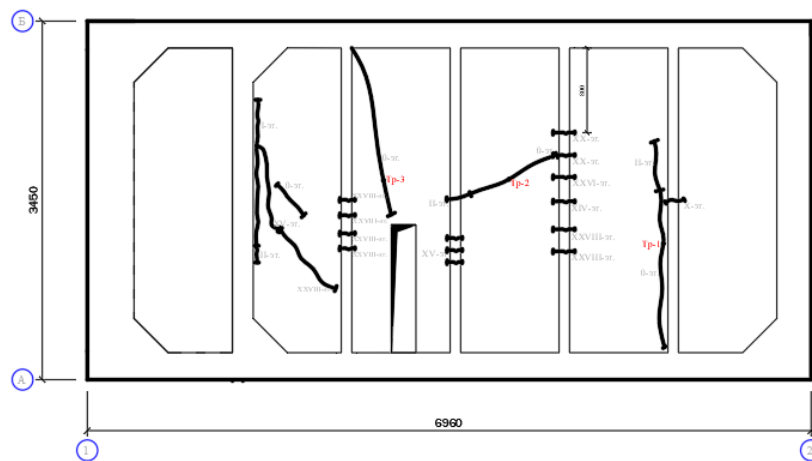


Figure 9. Crack location diagram along the bottom edge of the floor slab

In general, the results of the conducted tests of the volume block floor slab confirmed its sufficient strength, stiffness, and crack resistance.

Figures 10 show characteristic cracks in the slab and cross-ribs of the floor slab.



Figure 10. Cracks in floor slab and floor slab ribs

Conclusion

Rigorous control tests to assess the actual performance of volumetric blocks in real-world conditions is one of the main aspects of use. This empirical approach provides valuable data on factors such as load distribution, material behavior, and structural integrity, further informing the refinement of design principles and construction methodologies. The performed control tests of elements and assemblies of volumetric blocks allow us to draw the following conclusions:

1. Floor slabs of the volume block perceive variable vertical load and unite the walls of the volume block in a single system.

2. The floor slab under the action of vertical loads is damaged as a rectangular caisson reinforced concrete slab, pinched along the contour. The cracks in the floor slab are concentrated in the middle part, but the width of their opening as well as the deflections under alternating load are significantly smaller than the permissible values.

3. The failure of the expanded clay concrete floor slab is caused by cracking and damage to the transverse reinforced concrete ribs. The experimental failure load exceeded the control failure load by 11%. Vertical deflections of the slab before failure did not exceed 8 mm, which characterizes the floor slab as having high stiffness.

The contribution of the authors:

Altigenov U. – concept, analysis, writing.

Bespaev A. – methodology, resources, testing.

Tulebekova A. – visualization, data collection.

Zharkenov Ye. – interpretation, editing

References

1. Strength and deformations of volume-blocks / Bespaev, A., Teshev, I., Kuralov, U.S., Altigenov, U.B. // *Smart Geotechnics for Smart Societies*. — 2023. — P. 2408–2412.
2. Performance Characteristics of the Steels for High-Rise Buildings / Q.B. Yu // *Advanced Materials Research*. — 2011. — T. 415–417. — C. 951–954. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.415-417.951
3. Study of Fire Control Safety of High-Rise Building and Countermeasures / Q.H. Wang // *Advanced Materials Research*. — 2011. — T. 418–420. — C. 2308–2311. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.418-420.2308
4. Wind interference effects of high-rise building on low-rise building with flat roof / B. Chen, L. Shang, M. Qin, X. Chen, Q. Yang // *Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics*. — 2018. — Vol. 183. — P. 88–113. DOI: 10.1016/j.jweia.2018.10.019
5. Reinforcement of compressed reinforced concrete structures with composite materials / Kuralov, U.S., Nashraliev, Z.T., Altigenov, U.B., Amanov, B.N. // *Smart Geotechnics for Smart Societies*. — 2023. — P. 2425–2429.
6. Les constructions françaises fondamentales, entre combinatoire libre et figée : la notion de moule / Y.I. Hernández Muñoz // *Thélème. Revista Complutense de Estudios Franceses*. — 2022. — T. 37, № 2. — C. 217–223. DOI: 10.5209/thel.82330
7. Rolling Block Construction Method of Cylindrical FDSO Based on Semi-Submersible Barge / T. Ni, Y. Wang, B.N. Li, J. Song, Y.K. Zhang // *Applied Mechanics and Materials*. — 2010. — T. 43. — C. 599–602. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.43.599
8. Research on Execution Process Monitoring for Curved Block Construction / J.F. Lei, A.M. Wang, J. Zhou, Z.Y. Li // *Applied Mechanics and Materials*. — 2012. — T. 190–191. — C. 1044–1048. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.190-191.1044
9. Non-reinforced foam-filled modules for rapidly assembled post-disaster housing / S. Nemati // *International Journal of GEOMATE*. — 2018. — T. 14, № 45. DOI: 10.21660/2018.45.73573
10. Testing of fresh concrete - Part 1: Sampling / ST RK EN 12390-1 — 2016. — P. 30.
11. Testing of fresh concrete - Part 3: Compressive strength testing. / ST RK EN 12390-1 — 2016. — P. 30.

12. Testing of hardened concrete - Part 4: Compressive strength - Specification for testing machines / ST RK EN 12390-1 — 2016. — P. 39.

13. АО КазНИИСА, Технический отчет по контрольным испытаниям элементов и узлов объемных в г. Нур-Султан, Алматы, 2020 г.

У.Алтигенов¹, А.Беспаев², А. Тулебекова^{1*}, Е.Жаркенов¹

¹*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан*
²*Қазақ құрылыс және сәулет ғылыми-зерттеу және жобалау институты» «ҚазҚСҒЗИ» АҚ,*
Алматы, Қазақстан

Көлемді блоктың еден плитасының беріктігін эксперименттік бағалау

Аңдатпа. Модульдік құрылыс – бұл ғимараттарды тез және тиімді тұрғызу үшін стандартталған блоктарды қолданатын жаңа әдіс. Бұл тәсіл құрылыстың уақыты мен құнын едәуір қысқартуға, сондай-ақ жұмыстың дәлдігі мен сапасын арттыруға мүмкіндік береді. Модульдік құрылыстың негізгі аспектілерінің бірі-құрылымдардың беріктігі мен қауіпсіздігін қамтамасыз ету үшін материалдарды мұқият жобалау және таңдау. Жұмыста көлемді блоктың еден плитасының беріктігін эксперименттік бағалау ұсынылған. Зерттеу әдістемесі нақты пайдалану жағдайларын қалпына келтіретін зертханалық жағдайларды жасауды, сондай-ақ деректерді өлшеу мен талдаудың заманауи әдістерін қолдануды қамтиды. Нәтижелер еден плитасының беріктік сипаттамалары туралы қорытынды жасауға мүмкіндік береді, бұл эксперименттік деструктивті жүктеме бақылау жүктемесінен 11% - ға асып түскенін көрсетті. Плитаның бұзылу алдындағы тік ауытқулары 8 мм-ден аспады, бұл еден плитасын жоғары қаттылық ретінде сипаттайды. Алынған ақпарат көлемді блокты пайдаланатын ғимараттарды жобалау және салу үшін маңызды негіз болып табылады. Жұмыс құрылыс процестерінің тиімділігін арттыруға елеулі үлес қосады және құрылыс индустриясы мен инженерлік шешімдер саласында өте маңызды болып табылатын конструкциялардың неғұрлым сенімді пайдалану сипаттамаларын қамтамасыз етеді.

Түйін сөздер: көлемді блоктар, еден плитасы, жарыққа төзімділік, қаттылық, беріктік, жүктеме

У.Алтигенов¹, А.Беспаев², А. Тулебекова^{1*}, Е.Жаркенов¹

¹*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*
¹*Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры*
АО «КазНИИСА, Алматы, Казахстан

Экспериментальная оценка прочности плиты пола объемного блока

Аннотация. Модульное строительство – это новый метод, при котором для быстрого и эффективного возведения зданий используются стандартизированные блоки. Такой подход позволяет значительно сократить сроки и стоимость строительства, а также повысить точность

и качество работ. Одним из ключевых аспектов модульного строительства является тщательное проектирование и выбор материалов для обеспечения долговечности и безопасности конструкций. В работе представлена экспериментальная оценка прочности плиты перекрытия объемного блока. Методика исследования включает создание лабораторных условий, воссоздающих реальные эксплуатационные ситуации, а также применение современных методов измерений и анализа данных. Полученные результаты позволяют сделать выводы о прочностных характеристиках плиты перекрытия, которые показали, что экспериментальная разрушающая нагрузка превысила контрольную на 11 %. Вертикальные прогибы плиты перед разрушением не превышали 8 мм, что характеризует плиту перекрытия как обладающую высокой жесткостью. Полученная информация является важной основой для проектирования и строительства зданий, в которых используется объемный блок. Работа способствует повышению эффективности строительных процессов и обеспечивает более надежные конструктивные характеристики, что важно в области строительной индустрии и инженерных решений.

Ключевые слова: объемные блоки, плита перекрытия, трещиностойкость, жесткость, прочность, нагрузка.

References

1. Strength and deformations of volume-blocks / Bespaev, A., Teshev, I., Kuralov, U.S., Altigenov, U.B. // Smart Geotechnics for Smart Societies. — 2023. — P. 2408–2412.
2. Performance Characteristics of the Steels for High-Rise Buildings / Q.B. Yu // Advanced Materials Research. — 2011. — T. 415–417. — C. 951–954. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.415-417.951
3. Study of Fire Control Safety of High-Rise Building and Countermeasures / Q.H. Wang // Advanced Materials Research. — 2011. — T. 418–420. — C. 2308–2311. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMR.418-420.2308
4. Wind interference effects of high-rise building on low-rise building with flat roof / B. Chen, L. Shang, M. Qin, X. Chen, Q. Yang // Journal of Wind Engineering and Industrial Aerodynamics. — 2018. — Vol. 183. — P. 88–113. DOI: 10.1016/j.jweia.2018.10.019
5. Reinforcement of compressed reinforced concrete structures with composite materials / Kuralov, U.S., Nashraliev, Z.T., Altigenov, U.B., Amanov, B.N. // Smart Geotechnics for Smart Societies. — 2023. — P. 2425–2429.
6. Les constructions françaises fondamentales, entre combinatoire libre et figée : la notion de moule / Y.I. Hernández Muñoz // Thélème. Revista Complutense de Estudios Franceses. — 2022. — T. 37, № 2. — C. 217–223. DOI: 10.5209/thel.82330
7. Rolling Block Construction Method of Cylindrical FDSO Based on Semi-Submersible Barge / T. Ni, Y. Wang, B.N. Li, J. Song, Y.K. Zhang // Applied Mechanics and Materials. — 2010. — T. 43. — C. 599–602. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.43.599
8. Research on Execution Process Monitoring for Curved Block Construction / J.F. Lei, A.M. Wang, J. Zhou, Z.Y. Li // Applied Mechanics and Materials. — 2012. — T. 190–191. — C. 1044–1048. DOI: 10.4028/www.scientific.net/AMM.190-191.1044
9. Non-reinforced foam-filled modules for rapidly assembled post-disaster housing / S. Nemati // International Journal of GEOMATE. — 2018. — T. 14, № 45. DOI: 10.21660/2018.45.73573
10. Testing of fresh concrete - Part 1: Sampling / ST RK EN 12390-1 — 2016. — P. 30.

11. Testing of fresh concrete - Part 3: Compressive strength testing. / ST RK EN 12390-1 — 2016. — P. 30.

12. Testing of hardened concrete - Part 4: Compressive strength - Specification for testing machines / ST RK EN 12390-1 — 2016. — P. 39.

13. АО КазНИИСА, Технический отчет по контрольным испытаниям элементов и узлов объемных в г. Нур-Султан, Алматы, 2020 г.

Information about authors:

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

Bespaev Aliy – Dr.Tech.Sc., Professor, Kazakh Research and Design Institute of Construction and Architecture Investment (JSC "KazNIISA"), Almaty, Kazakhstan, aliy40@mail.ru

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

Zharkenov Yerkebulan – PhD, Associate Professor of Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, berdenovich@gmail.com

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

Беспаев Али – т.ғ.д., профессор, Қазақ құрылыс және сәулет ғылыми-зерттеу және жобалау институты» «ҚазҚСҒЗИ» АҚ, Алматы, Қазақстан, aliy40@mail.ru

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

Жаркенов Еркебулан Берденович – «Құрылыс» кафедрасының доценті, Ph.D., Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, berdenovich@gmail.com

Алтигенов Улан – докторант кафедрасы «Строительство», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, ulanbek_666@mail.ru

Беспаев Али – доктор технических наук, профессор, Казахский научно-исследовательский и проектный институт строительства и архитектуры, Алматы, Казахстан, aliy40@mail.ru

Тұлебекова Асель Сериковна – PhD, профессор кафедрасы «Строительство», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, krasavka5@mail.ru,

Жаркенов Еркебулан – PhD, доцент кафедрасы «Строительство», Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, berdenovich@gmail.com



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



XҒТАР 691.12

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-79-96>

Шолу мақала

3D басып шығару арқылы қалдықтар негізінде бетонды қалыптау технологиясының ерекшеліктері

Аруова Л.*¹, Алдабергенова Г.², Кадыров А.¹, Уркинбаева Ж.¹,
Сейтказинов О.²

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

²Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

(E-mail: *ecoeducation@mail.ru)

Аңдатпа. Бұл мақалада құрылыс саласында 3D басып шығару арқылы қалдықтар негізінде бетонды қалыптау технологиясының ерекшеліктері мен аддитивті технологияларды қолдану саласы бойынша әлемдік тәжірибеге шолу қарастырылады.

Құрылыстағы аддитивті технологиялық процестердің қалыптасуы мен дамуының бастапқы кезеңі қабатты экструзия әдісімен құрылыс 3D басып шығару технологиясын бетонды қалыптау технологияларының бірі және аддитивті технологиялық процестеріндегі зерттелетін технологияның орнын анықтау үшін нормативтік құжаттама және әдеби дереккөздер талданады. Әдеби шолу мен талдау негізінде ең жоғары тиімділікке қол жеткізу үшін құрылыс 3D басып шығару технологиясында оңтайлы реотехнологиялық қасиеттерді қамтамасыз ету қажеттігі анықталады.

Мақалада жұмыс қабілеттілігі мен орнату уақыты бойынша бетон қоспасына қойылатын негізгі техникалық талаптар, сондай-ақ бетон құрамын таңдау ерекшеліктері тұжырымдалған. Портландцемент негізінде берілген сипаттамалары бар ұсақ түйіршікті бетондарды алудың принципті мүмкіндігі қарастырылған. Басылған қабаттардың формаға төзімділігін жақсарту, бастапқы құрылымның пайда болуын жеделдету, композиттердің физика-механикалық сипаттамалары (тығыздығы, беріктігі, судың сіңуінің төмендеуі) үшін бетон қоспасының бастапқы құрамын минералды және химиялық қоспалармен өзгертуі зерттеледі.

Осыған байланысты, бірінші кезеңде нормативтік құжаттама, сондай-ақ құрылыс 3D басып шығару процестері мен әдістері, аддитивті өндіріс нарығының жағдайы талданады. Екінші кезеңде құрылыс 3D басып шығару технологиясында қолданылатын шикізат қоспаларының құрамы зерттеледі.

Кілт сөздер: 3D басып шығару, Қабатты экструзия әдісі, ұсақ түйіршікті бетон қоспасы, аддитивті құрылыс өндірісі, шикізат қоспасы.

Түсті 12.03.2024. Жөнделді 06.09.2024. Мақұлданды 12.09.2024. Онлайн қолжетімді 30.09.2024

¹*хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Құрылыс өндірісіне енгізілген аддитивті технологияның бір түрі-қабатты экструзия әдісімен 3D басып шығару. 3D басып шығару дегеніміз ол материалды бір уақытта бір қабатқа қабаттастыру арқылы бөлікті жасау. Басып шығару үшін қосымша құрылыс қондырғылары 3D принтерлер қолданылады. Бұл технология берілген үш өлшемді цифрлық модельге сәйкес шикізат қоспасын қабаттап жағу (экструзия) арқылы объектілерді құруға (өсіруге) мүмкіндік береді. Қазіргі уақытта қолданылатын бетон қоспаларының құрамдары негізінен ұсақ түйіршікті қабатты экструзия 3D басып шығару үшін 3D құрылыс принтерлерінде «сия» ретінде қолдануға бейімделмеген, бұл қоспалардың төмен реотехнологиялық сипаттамаларында, сондай-ақ олардың негізіндегі өнімдердің төмен пайдалану қасиеттері мен беріктігінде көрінеді [8]. Қабатты экструзия әдісімен қалыптасқан өнімдердің ең тән ақаулары: қабаттардың таралуына байланысты геометрияның бұзылуы, жыртылу, Бос орындар мен сынықтардың болуы, кеуектіліктің жоғарылауы, жарыққа төзімділіктің төмендігі, жоғары шөгуде деформациясы, қатаюдың біркелкі еместігі және т.б. Сонымен қатар, қабаттардың пішінге төзімділігін қамтамасыз ету үшін қажет ұзақ технологиялық үзілістер, сондай-ақ 3D басып шығаруды қайта бастаған кезде жұмыс ауысымы аяқталған кезде пайда болатын үзілістер құрылыс өнімдерінің сапасын едәуір төмендететін, қабаттардың төмен адгезиясымен және физикалық-механикалық сипаттамаларының төмендеуімен (беріктігі, су өткізбейтіндігі, аязға төзімділігі және т.б.) көрінетін суықбуындардың пайда болуына әкеледі [15]. Осыған байланысты қабатты экструзия әдісімен қалыптасқан бетон қоспаларына пайдалану, рецепт және технологиялық факторларға тікелей байланысты талаптар қойылады. Олардың ішінде ең маңыздылары: басылған қабаттардың жоғары формаға төзімділігі, жеделдетілген бастапқы құрылымның қалыптасуы, басылған қабаттардың жоғары адгезиясы, қалыптасқан композиттердің физика-механикалық сипаттамаларының жоғарылауы [9]. Осыған байланысты оңтайлы реотехнологиялық сипаттамалары, физика-механикалық қасиеттерінің жоғарылауы және 3D басып шығару үзілісінің ұзақ уақыт аралығында суық тігістердің пайда болуын болдырмауды қамтамасыз ететін ғылыми негізделген технологиялық шешімдерді әзірлеу арқылы қабатты экструзияға (3D басып шығару) арналған ұсақ түйіршікті бетон қоспаларының құрамын әзірлеу арқылы құрылыстағы аддитивті өндірісті жетілдіруге байланысты мәселелерді шешу өзекті болып отыр [18].

В.И. Теличенко, О.М. Терентьев, А.А. Лapidустың жұмыстарына сүйене отырып, аддитивті құрылыс өндірісінің технологиясы ғылыми тұрғыдан қажетті сападағы өнімді алу үшін жартылай фабрикаттарды, яғни ерітінді мен бетон қоспаларын өңдеуді қамтамасыз ететін және олардың жай-күйінің, физикалық-механикалық қасиеттерінің, геометриялық өлшемдерінің өзгеруімен құрылыс процестерін орындау кезінде теориялық негіздерін, әдістерін мен тәсілдерін қарастырады.

Қабатты экструзия әдісімен құрылыс өнімдерін құру процесі технологиялық операциялардың келесі тізбегін қамтиды:

1. Объектінің сандық трахмер моделін құру;

2. Модельді көлденең қимадағы қабаттарға бөлу;
3. Модельді G-code бағдарламалау тілінде сандық деректерге аудару, бұл модельдеуге, кодтар жасауға және 3D принтерді басқаруға мүмкіндік береді;
4. Берілген қасиеттері бар шикізат қоспасын дайындау және оны құрылыс 3D-принтерінің алынбалы жинақтау бункеріне беру;
5. Әзірленген кодты басып шығару механизміне беру-экструдер;
6. Берілген сандық үш өлшемді модельге сәйкес шикізат қоспасының қабатты экструзиясы;
7. Объектіні (бұйымды) қалыптастыру аяқталғанға дейін материалды қатайту;
8. Кейінгі өңдеу: тірек құрылымын алып тастау (қажет болған жағдайда).

Жоғарыда келтірілген мәселелер бойынша шолу мақаласында келесі тараулар қарастырылады. Әр тараудағы зерттеулердің нәтижелері қарастырылатын тарауларда келтірілген.

Әдіснама

Әртүрлі өнеркәсіптік салаларда, соның ішінде, атап айтсақ құрылыс саласында өндіріс кезінде автоматтандыру мен роботтандыру құралдарын дамыту әрі енгізу бағытында жаңашылдық технологиялардың кеңінен пайдаланылуы байқалады. Құрылыс саласында осылай қарқынды дамып келе жатқан жаңа инновациялық технологиялардың бірі – ол субтрактивті өндіріс яғни механикалық өңдеу мен дәстүрлі өндіріспен айырмашылығы материалды, яғни қабат-қабат қосу арқылы электрондық геометриялық модель бойынша физикалық объектіні құру негізінде ғимараттар мен құрылыстардың бөлшектерін, бұйымдарын, құрылымдарын, қаңқаларын жасауға мүмкіндік беретін аддитивті технологиялық процестерді – құю, штамптау арқылы қолдану болып табылады. Қазіргі уақытта аддитивті процестердің негізгі жеті категориясы бар – олар ваннадағы фотополимерлеу, байланыстырғышты реактивті қолдану, материалды реактивті қолдану, субстраттағы синтез, материалды экструзиялау, энергия мен материалды тікелей жеткізу және парақты ламинациялау. Құрылыста, минералды тұтқыр негізінен, ең бастысы портландцемент шикізат қоспаларын қолдану арқылы, қабатты экструзия әдісі кеңінен таралды. Қабатты экструзия әдісімен бетонды қалыптау технологиясы өзара байланысты процестер және шикізат компоненттерін өңдеу әдістері болып табылады.

Қабатты экструзия әдісімен құрылыс 3D басып шығару технологиясын бетонды қалыптау технологияларының бірі және құрылыс өндірісінің тәсілдерінің бірі ретінде қарастыра отырып, аддитивті технологиялық процестердің бар санаттарын және олардағы зерттелетін технологияның орнын анықтау үшін нормативтік көздерді қарастыру қажет.

Нормативтік құжаттаманы талдау аддитивті технологиялық процестер саласындағы нормативтік реттеудің қалыптасуы мен дамуының бастапқы кезеңін көрсетеді. Қазіргі уақытта алты ұлттық стандарт бекітілді және қолданысқа енгізілді, олардың үшеуі құрғақ қоспалар, ерітінді қоспалары, сондай-ақ қатайтылған ерітінді түріндегі

шикізатты пайдалана отырып, қосымша құрылыс өндірісінің технологияларында тікелей қолданылады [3-5].

57558-2017 Р Мемст [1] Бөлшектерді өндірудің аддитивті принципіне негізделген аддитивті өндіріс технологияларында қолданылатын терминдер мен анықтамаларды белгілейді, яғни материалды дәйекті қосу арқылы физикалық кеңістіктік бұйымдарды жасау. Бұл стандарттың мақсаты аддитивті өндірістің іргелі принциптерін базалық түсінуді қамтамасыз ету және олардың негізінде осы технологиялар саласында нақты терминологияны енгізу болып табылады.

Аддитивті технологиялық процестердің әртүрлі санаттарында қолданылатын материалдарға қойылатын жалпы талаптар 57589-2017 Р Мемст [6]. Бұл стандарт процестердің келесі категорияларын анықтайды: ваннадағы фотополимерлеу, материалды реактивті қолдану, байланыстырғышты реактивті қолдану, субстраттағы синтез, материалды экструзиялау, энергия мен материалды тікелей жеткізу, парақ ламинациясы. Процестердің мәнін, қолданылатын шикізатты, шикізат қоспасының құрамдас бөліктерінің байланыс механизмін, оны белсендіру көзін және дайын өнімді қайталама өңдеу әдістерін сипаттау келтірілген.

57590-2017 ГОСТ Р [2] осы стандарт аддитивті өндіріс саласындағы ағымдағы және болашақ міндеттерді шешу үшін қолданылатын аддитивті өндіріс файлдарына (AMF) қойылатын талаптарды белгілейді

59095-2020 ГОСТ Р «Аддитивті құрылыс өндірісінде қолданылатын материалдар. Терминдер және анықтамалар [3] алмасу үшін негізгі терминдер мен анықтамаларды белгілейді» құрылыс құрылымдарын өндірудің аддитивті принципіне негізделген құрылыстағы аддитивті өндіріс технологияларында қолданылатын терминдер мен анықтамаларды белгілейді, яғни материалды дәйекті қосу арқылы физикалық кеңістіктік объектілерді құру.

59096-2020 ГОСТ Р «Аддитивті құрылыс өндірісінде қолданылатын материалдар. Сынау әдістері» [4] құрғақ қоспалар, ерітінді (бетон) қоспалары, сондай-ақ қатайтылған бетон (ерітінді) түрінде аддитивті құрылыс өндірісіне арналған материалдар сапасының негізгі көрсеткіштерін анықтау әдістерін (жүзуге төзімділікті, сорғышты және қабаттардың адгезия беріктігін (тұтастығын) анықтау) белгілейді.

59097-2020 ГОСТ Р «Аддитивті құрылыс өндірісінде қолданылатын материалдар. Техникалық талаптар» [5] ғимараттар мен құрылыстарды салу, қайта құру және жөндеу кезінде қолданылатын қосымша құрылыс өндірісіне арналған материалдарды қабылдаудың жалпы техникалық талаптары мен ережелерін белгілейді.

57589-2017 ГОСТ Р [6] сәйкес қабатты экструзия әдісімен бетонды қалыптау «Материалды экструзиялау» процестерінің санатына жатады. Осы стандарт процестердің әртүрлі санаттарында қолданылатын материалдарға қойылатын жалпы талаптарды белгілейді.

Қабатты экструзия әдісі көптеген құрылыс принтерлерін 3D басып шығарудың негізгі әдісі болып табылады. Бұл әдістің мәні мынада: 3D принтерде жұмыс істейтін «саптама» яғни экструдер бөлігі бар, ол тез қататын бетон қоспасын сығып алады, оған болашақ құрылымның сипаттамаларын қандай да бір жолмен жақсартатын әртүрлі қоспалар

кіреді. Әрбір келесі қабат алдыңғы қабаттың үстіне 3D принтермен сығылады, соның арқасында белгілі бір дизайн қалыптасады (1-сурет [7]).



1-сурет. «Құрылыс 3D принтерінде қабатты экструзия өнімін жасау» [7]

Құрылыстағы мұндай технология туралы алғаш рет 2012 жылдың тамызында Оңтүстік Калифорния университетінің профессоры Бехрох Хошневистің еңбектерінде айтылған. Оның ғылыми тобы құрылыс алаңында жиналған көпір кранының түрі бойынша 3D принтерді жобалау идеясын алға тартты.

Сол жылы алғашқы тұтынушылық 3D құрылыс принтерлері ұсынылды, ал екі жылдан кейін Шанхай Винсун (Қытай) бір қабатты тұрғын үйдің алғашқы экспонаты салынды.

Бетонды қабатты экструзиялау әдісін әр түрлі құрылыс 3D принтерлерімен жүзеге асыруға болады: порталды, бұрыштық координаттарда жұмыс істейтін Дельта жетегі бар, өнеркәсіптік манипуляторлар негізінде және т. б.

Жалпы жағдайда 3D принтермен басып шығару жүйесі келесі элементтерді қамтиды [8]:

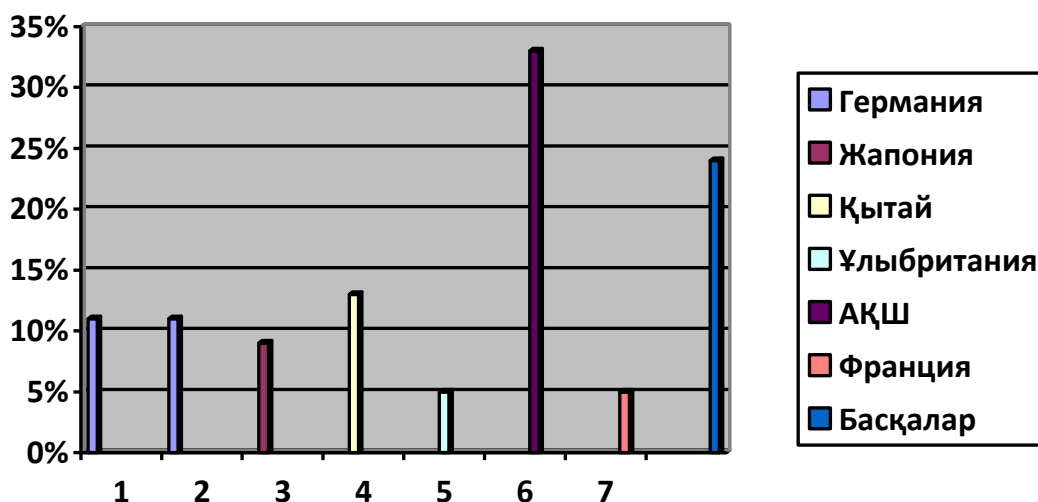
- қозғалыс жүйесі;
- экструзия жүйесі (саптамасы бар баспа басы);
- портативті араластыру қондырғысы;
- сорғы жүйесі (электроникамен басқарылады);
- басқару блогы (электроника, орналасу және басқару жүйесі);
- қауіпсіздік жүйесі.

Әдеби деректерді талдау бойынша [9] қосымша өндіріс нарығының жыл сайынғы өсуін көрсетеді. 2018 жылы оның көлемі 5 млрд. АҚШ долларынан асты, 2025 жылға болжамды көлемі 21 млрд. АҚШ долларынан асады (2-сурет). Айта кету керек, аддитивті технологиялардың әлемдік нарығының 50% -дан астамын АҚШ, Германия, Ұлыбритания, Жапония және т.б. сияқты елдер бақылайды, бұл ұзақ мерзімді перспективада оларды

осы технологияны дамытудың көшбасшылары ретінде анықтайды. Аддитивті өндіріс жабдықтарын өндірушілерді қарастыра отырып, негізгі көшбасшы компанияларды атап өтетін болсақ: ObjectGeometries (АҚШ-Израиль), корпорация 3D Systems (АҚШ), ExOne (АҚШ), EOS GmbH (Германия), SLM Solutions (Германия), Arcam AB (Швеция), Stratasys (АҚШ), Envisiontec (АҚШ-Германия (DLP)), Voxeljet (Германия).

Бүгінгі таңда Қазақстан үлесіне нарықтың шамамен 1%-ы тиесілі. Өкінішке орай, еліміз барлық негізгі бағыттар бойынша көшбасшылардан артта қалды – материалдар мен жабдықтар өндіруден бастап дайын өнімді енгізуге дейін [9].

Қазақстанда 2016 жылдың қорытындысы бойынша бетонмен 3D-басып шығару технологиясы [10]-да келтірілген зерттеулерді бағалауға сәйкес шағын сәулет нысандарын жасау (42%), нысандарды дайындау үшін мастер-модельдер жасау (29%), ғимараттар мен құрылыстар конструкцияларының күрделі элементтерін жасау (18%), шағын сәулет нысандарын жасау (42%) салаларында кеңінен қолданылды. Үлкен сәулет нысандары (5%), басқа (6%).



2-сурет. «Өңірлер бойынша 2025 жылға қарай аддитивті технологиялар нарығының құрылымын болжау. «Басқалар» сегментіне Үндістан, Латын Америкасы елдері, Ресей, Австралия, Швеция, Италия, Бельгия, Испания және Нидерланды кіреді» [9]

Аддитивті құрылыс өндірісіне арналған жабдықтар шығаратын компаниялардың ішінде Ресейдегі «Спецавия» ЖШҚ (портал принтерлерін шығарады), Ariscor компаниясы, Мәскеу (бұрыштық координаттарда жұмыс істейтін принтерлер). Дельта жетегі бар принтерлер және өнеркәсіптік манипуляторларға негізделген принтерлер сирек кездеседі. Жаппай шығарылатын 3D принтерлердің ең көп таралған түрі – портал принтерлері.

Аддитивті технологиялар нарығында аддитивті құрылыс өндірісіне арналған жабдықтар шығаратын отандық компаниялардың позицияларын нығайту қажеттілігі, сондай-ақ импортты алмастыру және импорт озу міндеттерін шешу ғылыми

зерттеулерді орындау үшін отандық жабдықты пайдалану қажеттілігін айқындайды. Осыған байланысты бұл жұмыста зерттеулер Ресейде жасалынған моделі – 3030 «АМТ Спецавия» 3D портал принтерінде орындалады. Принтерлердің осы түріне арналған шикізат қоспаларын таңдау әлемдік нарықта отандық жабдықтар мен оларды қолдана отырып жасалған бұйымдарды қолдауды және бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз етеді.

Осылайша, құрылыс 3D басып шығарудың нормативтік құжаттамасын, процестері мен әдістерін, аддитивті өндіріс нарығының жай-күйін талдау 3D басып шығару технологиясы құрылыс индустриясындағы өте перспективалы бағыт екенін анықтауға мүмкіндік берді. Қазіргі уақытта алты ұлттық стандарт бекітілді және қолданысқа енгізілді, оның үшеуі бетон және ерітінді қоспаларымен қосымша құрылыс өндірісінде қолданылады. Айта кету керек, 3D басып шығаруға арналған бетон және ерітінді қоспаларының реологиялық және технологиялық қасиеттеріне қойылатын талаптар осы ұлттық стандарттармен реттелмейді. Сондықтан, шолудың келесі кезеңінде құрылыс 3D басып шығару технологиясында қолданылатын және қолданылуы мүмкін шикізат қоспаларын зерттеу айтарлықтай қызығушылық тудырады.

Құрылыс 3D басып шығару процестері мен әдістерін, аддитивті өндіріс нарығының жай-күйін талдау бойынша 2025 жылға қарай аддитивті технологиялар нарығының құрылымын салыстырмалы түрде болжау.

№	Аймақтар	%
1	Франция	5
2	АҚШ	33
3	Ұлыбритания	5
4	Қытай	13
5	Жапония	9
6	Германия	11
7	Басқа	24

Соңғы жылдардағы аддитивті технологиялардың әлемдік нарығының тән тенденциялары бойынша:

- Соңғы өнімдер ретінде аддитивті технологияларды қолдана отырып жасалған бөлшектердің үлесін үнемі арттыру;
- 3D басып шығару технологияларының қарқынды дамуы, гетерогенді материалдарды қолдану есебінен өндіріс мерзімі мен құнын төмендету;
- Тұжырымдаманы әзірлеу кезеңінен прототиптік үлгіні жасауға дейінгі уақытты 70 пайызға немесе одан да көп қысқартуға мүмкіндік беретін жылдам қайта реттелетін өндірістерді құру үшін 3D басып шығаруды қолдану;
- Аддитивті өндіріс саласында қаржыландыру көлемінің өсуі.

Нәтижелер мен талқылау

Әдеби деректерді талдау [11,12] пайдалану, рецептуралық және технологиялық факторларды ескере отырып, аддитивті технологиядағы бетон қоспаларына қойылатын негізгі талаптарды анықтады. Қоспаның қалыптау және қатаю сатысына мыналар жатады: реотехнологиялық қасиеттер (қалыптау немесе жұмысқа жарамдылық, құбырлар арқылы тасымалдау мүмкіндігі, пластикалық беріктік, тиксотроптылық), дисперсия, адгезиялық қасиеттер (қабаттардың тығыз орналасуы), қоспаның үзілмеуі, жарықтар болмауы, төмен шөгу, біркелкі қатаю (орнату), экструзиядан кейін жоғары орнату жылдамдығы. Дайын өнімдерге қажетті беріктікті, жоғары біркелкілік пен қасиеттердің тұрақтылығын, төмен тығыздық пен жылу өткізгіштікті, жоғары адгезия беріктігін, аязға төзімділікті қамтамасыз ету талаптары қойылады.

Құрылыста басып шығаруға арналған композициялардың қасиеттерін қалыптастыруда бетон қоспасының реологиялық сипаттамалары ерекше рөл атқарады, өйткені композициялық тұтқыр заттардың ұтымды таңдалған құрамы қалыптау құрылғыларының тиімді жұмысына әсер етуі мүмкін. Мұндай сипаттамаларға мыналар жатады: ағын басталатын ауысу жылдамдығының градиенті (аққыштық шегі), әртүрлі араластыру жылдамдығындағы тұтқырлық, жүйенің құрылымдылық дәрежесін және бұзылғаннан кейін оның қалпына келу жылдамдығын сипаттайтын гистерезис циклінің ауданы [13]. Сонымен, авторлардың зерттеулеріне сәйкес [13] автоклавты газдалған бетон өндірісінің қалдықтары бар композициялар мұндай жүйелердің төмен кірістілігіне байланысты құрылыс баспа технологиясында қолдануға ең аз дәрежеде жарамды, бұл мұндай қоспалардың құрылымға және берілген пішінді сақтауға бейімділігінің төмендеуінен көрінеді. Ең қолайлы қоспа ретінде авторлар құрамында кварцито құмтас негізіндегі ауыр бетон сынағы бар композициялық тұтқыр қоспаларды пайдалануды ұсынады. Басқа авторлардың еңбектерінде газдалған бетон мен көбік бетонды қолдану 3D басып шығаруға арналған жеңіл қабырға конструкцияларының талаптарына сәйкес келмейтін қалыптаудан кейін (химиялық реакцияның әсерінен) қоспаның көлемінің ұлғаюына байланысты қиын екендігі көрсетілген.

Қабатты экструзия әдісімен құрылыс 3D басып шығару технологиясында шикізат қоспасының құрамдас бөліктерін таңдау кезінде анықтайтын критерийлердің бірі бастапқы қатаю кезеңінде жаңадан құйылған бетон қоспасының беріктігінің жылдам жиынтығын қамтамасыз ету болып табылады. Бұл талаптарды портландцемент тез қатайтады ($C3S+C3A=60\text{.....}65\%$) және әсіресе қатты ($C3S=65\text{.....}68\%$, $C3A\leq 8\%$). Сонымен қатар, портландцементтерді таңдағанда олардың қолжетімділігі мен өнеркәсіптік өндіріс көлемін ескеру қажет. 2020 жылдың қорытындысы бойынша елде өндірілген цементтің негізгі көлемі минералды қоспасыз портландцементтердің үлесіне келді – 34 511 мың тонна (цементтің Бүкілресейлік өндірісінің 61,6%), қоспалары бар портландцементтерге – 18 911 мың тонна (елдегі цемент өндірісінің жалпы көлемінің 33,8%) [14]. Экологияның заманауи талаптарын ескере отырып, қоспасыз портландцементтерден, сондай-ақ белсенді минералдары бар портландцементтерден басқа, саланың ілеспе өнімдерін қамтитын портландцементтерді де қолданған жөн.

Айта кету керек, жоғары шөгу деформациялары қабатты экструзия әдісімен қалыптасқан өнімдердің сапасына теріс әсер етеді. Қабаттық экструзия әдісімен қалыптасқан бетонның жоғары шөгу деформациялары мәселесін шешу үшін авторлар жұмыста [15] 3D басып шығаруға арналған құрғақ құрылыс қоспасының құрамын ұсынды, мұнда гипсоглиноземді кеңейтетін тұтқыр ұсақ толтырғышпен және қоспалар кешенімен бірге тұтқыр ретінде қолданылады. Алайда, алюминий цемент, бетон қоспасының құрамындағы тұтқыр ерітіндінің балама шешімі бола отырып, дәстүрлі портландцементпен салыстырғанда қымбатырақ.

Конструкциялық жеңіл бетондардың, соның ішінде құрылыс 3D-басып шығаруға арналған құрамдарды әзірлеу жөніндегі зерттеулер Ұлттық Зерттеу Мәскеу Мемлекеттік Құрылыс Университеті ФМБМ-де жүзеге асырылуда [16]. Жоғары беріктігі бар жеңіл фибробетонның әзірленген құрамдарының орташа тығыздығы 1400 кг/м³ құрайды; қоспаның қозғалғыштығы (бұлыңғырлық диаметрі бойынша) 170...250 мм құрайды; иілу кезіндегі беріктік шегі 6,5 Мпа-ды; қысу кезіндегі беріктік шегі 72,1 Мпа-ды; меншікті беріктігі 51,4 Мпа-ды; жалпы кеуектілігі - 33,4% -ға дейін; серпімділік модулі - 12,9 ГПа; Пуассон коэффициенті - 0,276; аязға төзімділік маркасы - F300 басталады.

Бетондардың пішінсіз қалыптау технологиясындағы технологиялық қасиеттерін зерттеу нәтижелері көрсетілген [17]. Г.М. Хренов бетон қоспаларының пластикалық қасиеттерін эксперименттік бағалау әдісін әзірледі; үздіксіз пішінсіз қалыптау кезінде бетон қоспаларының пластикалық қасиеттеріне әртүрлі факторлардың әсер ету дәрежесі мен сипатын белгілейтін математикалық модель; пластификациялаушы қоспаны және дисперсті күшейтетін талшықтарды енгізу арқылы бетон қоспасының икемділігін реттеу әдістері; бетон қоспасының шекті созылуын анықтау бойынша ұсыныстар. Жұмыстың теориялық және практикалық маңыздылығы тұжырымдалған [17] құрылыс өнімдерінің сапасын жақсарту тұрғысынан, оның ішінде қабатты экструзия (3D басып шығару) әдісі өте маңызды.

3D принтер қоспаларындағы цемент байланыстырғышқа балама ретінде минералды қоспалармен біріктірілген гипс байланыстырғыш қолданылады: гидротермиялық ерітінділерге негізделген безді кварциттердің және нанодисперсті кремнеземнің дымқыл магниттік сепарациясының қалдықтары. Құрылыс 3D басып шығаруда гипс байланыстырғышты қолданудың артықшылығы ретінде бастапқы құрылымның жоғары жылдамдығын атап өткен жөн, кемшіліктер ретінде қоспаның төмен өміршеңдігін, гипс байланыстырғышқа негізделген өнімдердің төмен суға төзімділігін атап өткен жөн, олардың шешімі жұмыста сипатталған әртүрлі тәсілдермен қамтамасыз етілуі мүмкін.

Профессор В.И. Калашников құрылыс 3D басып шығаруға қолданылатын гранулометриялық құрамы бойынша талаптарды барынша қанағаттандыратын жаңа буынның ұнтақты және жұқа түйіршікті бетондарын жасады.

Жұмыста орындалған құрылыстағы 3D басып шығарудың қолданыстағы технологиялық шешімдерінің әлемдік тәжірибесін талдау [18] құрылыста 3D басып шығару технологиясын жүзеге асыратын отандық және шетелдік ұйымдарды, олардың шикізат қоспаларының құрамына және олардың қасиеттеріне ұсыныстарын анықтауға мүмкіндік берді: Ұлыбританияда Лофборо университеті, Ресейде ArisCor компаниясы,

Қытайда WinSun компаниясы, АҚШ-та Contour Crafting корпорациясы, Ресейде Спецавия ЖШҚ, StroyBot компаниясы (Rudenko 3D принтер), Словенияда BetAbram компаниясы, АҚШ-тағы MIT Media Lab, Голландияда CyBe Construction, DUS Architects компаниялары, Францияда Vatiprint3D компаниясы.

Қытайдағы «WinSun» компаниясы 3D-принтерге арналған «сия» ретінде ғимараттарды бұзудан қалған қалдықтар, шыны талшық және арнайы патенттелген қоспадан тұратын цемент-құм негізіндегі шикізат қоспасын пайдалануды ұсынады. Басып шығару кезіндегі қабаттың ені – 30...60 мм, орташа тығыздығы-2000...2200 кг / м³, иілу беріктігі – 8,2 МПа, қысу кезінде – 34,5 Мпа құрайды.

Ресейдегі ЖШҚ «Спецавия» компаниясы құрылыс 3D басып шығару үшін каолин қоспасын қосып, М300 маркалы құмбетон негізінде талшықтары бар жоғары беріктігі бар цемент қоспасын қолдануды ұсынады. Басып шығару кезіндегі қабаттың ені – 20...50 мм, орташа тығыздығы – 2200...2350 кг/м³, қысу беріктігі – 30 МПа.

Stroybot (Rudenko 3D принтер) компаниясы пайдаланатын шикізат қоспасы жанартау күлінің қоспалары бар геополимерлі бетон болып табылады. Басып шығару кезіндегі қабаттың ені – 30 мм, қалыңдығы– 10 мм, орташа тығыздығы – 2100...2250 кг/м³.

Словениядағы Betabram компаниясы 3D басып шығару үшін құм (4 мм-ге дейін) және қиыршық тас (4...8мм) толтырғыштары бар торкретбетон негізіндегі қоспаны пайдаланады. Басып шығару кезіндегі қабаттың ені – 40 мм, қалыңдығы– 10...20 мм, орташа тығыздығы – 2300... 2350 кг/м³.

АҚШ-тағы Contour Crafting корпорациясы қабатты экструзия әдісімен ғимараттарды тұрғызу кезінде сульфатқа төзімді цемент пен бөлшектердің мөлшері 2,5 мм-ден аспайтын, құрамында 6 мм талшық ұзындығы бар полипропилен талшығы бар құм негізіндегі ерітінділерді қолданады. функционалды қоспалар ретінде поликарбонат негізіндегі пластификатор, баспа қабатының тұтастығын қамтамасыз ету үшін тұтқырлықты реттегіш қолданылады. Сонымен қатар, композиттің беріктігі мен суға төзімділігін арттыру мақсатында тығыздалған кремний диоксиді енгізіледі [57-60]. Орташа тығыздығы – 2250 кг / м³, басып шығару кезінде қабаттың ені – 25...50 мм, қалыңдығы – 30...40 мм. Сығымдау беріктігі 45...50 МПа құрайды.

Ресейдегі ApisCor компаниясының әзірлеушілері 3D басып шығару үшін шикізат қоспасы ретінде қысу беріктігі В20, аязға төзімділігі F200, су өткізбейтін маркасы W6 бойынша ұсақ түйіршікті талшықты бетонды қолдануды ұсынады. Басып шығару кезіндегі қабаттың ені-40...50 мм, қалыңдығы – 30 мм, орташа тығыздығы-2050 кг / м³, қысу беріктігі – 27,4 Мпа-ды құрайды.

Ұлыбританияда Лофборо университетінің ғалымдары орташа тығыздығы 2250...2350 кг/м³ болатын 3D басып шығаруға арналған шикізат қоспасын жасады. Басып шығару кезінде қабаттың ені мен қалыңдығы – 25 мм.иілу кезіндегі беріктік – 12-13 МПа, қысу кезінде – 100-110 МПа. Сонымен қатар, оңтайлы шикізат қоспасында құм мен байланыстырғыштың 3:2 қатынасы бар, соңғысында 70%-ы цемент, 20%-ы күлді алып кету және 10%-ы микрокремнезем, сондай-ақ ұзындығы 12/0,18 мм және 1,2 кг/м³ полипропилен талшықтары бар. қоспаның 1 және 0,5 дозалары бар суперпластификатормен және модератормен бірге 0,26 су-цемент қатынасы бар

байланыстырғыш массасының %. Бұл шикізат қоспасы қалыңдығы алпыс бір қабаттан аспайтын бұйымдарды жасау кезінде диаметрі 9 мм саптама арқылы басып шығаруға арналған.

Голландиядағы Cybe Construction компаниясы 3D басып шығару технологиясы бойынша ғимараттарды салу кезінде орташа тығыздығы 2200 кг/м³ толтырғышпен (3 мм-ге дейін) бетон қоспаларын пайдаланады. Қоспаны орнату кезеңі 3-5 минутты құрайды, шайқау үстеліндегі қоспаның қозғалғыштығы 160 мм құрайды. алғашқы бес сағатта қатайтылған қабаттың беріктігі 4 және 15 МПа – ға жетеді, ал 28 күн қатқаннан кейін иілу кезінде және қысу кезінде 6 және 45 МПа болады.

Құрылыста 3D басып шығару технологиясын жүзеге асыратын әртүрлі ұйымдардың құрылыс 3D басып шығаруында қолданылатын құрамдар бойынша зерттеулердің орындалған талдауы 3D принтерлердің әртүрлі түрлерінің экструдталған шикізат қоспасының қабатының ені 20...60 мм диапазонында, қалыңдығы – 10...40 мм, орташа тығыздығы – 2000...2350 кг/м³, иілу беріктігі – 6...13 МПа, қысу беріктігі-27,4...110 МПа. Айта кету керек, аталған компаниялар мәлімдеген құрылыс қоспалары мен олардың негізінде қатайтылған композициялардың қасиеттерінің көрсеткіштері көбінесе жарнамалық және ақпараттық сипатта болады және әрдайым ғылыми зерттеулердің немесе сертификатталған сынақтардың нәтижесі бола бермейді, бұл ғылыми зерттеулерді жоспарлау кезінде көрсетілген деректерді негізді пайдалануға мүмкіндік бермейді. 3D құрылыс принтерінде зертханалық жағдайда ұсынылған кейбір құрамдардың орындалған сынақтары осы болжамды растайды.

Қабатты экструзия әдісімен құрылыс 3D басып шығаруға арналған құрамдарды әзірлеу саласындағы ғылыми жұмыстарды қорытындылай келе, г. С. Славчева, О.В. Артамонова (ВМТУ) [19,20], онда қазіргі уақытта құрылыс 3D басып шығаруға арналған қоспалардың тиімді құрамдарының номенклатурасын жобалау саласындағы зерттеулердің өзекті міндеттері тұжырымдалған, олардың арасында зерттеу қажеттілігі атап өтілген: реологиялық мінез-құлық модельдерін; орнату және қатаю процестерін; реологиялық сипаттамаларға қойылатын талаптарды негіздеу және реологиялық мінез-құлық модельдерін оңтайландыру; құрылыс нысандарының басып шығару жылдамдығына сәйкес құрылымдау және қатаю процестерінің кинетикасына қойылатын талаптардың негіздемесі.

Осылайша, 3D басып шығару технологиясында қолданылатын шикізат қоспаларына жүргізілген талдау әр түрлі зерттеушілер ұсынған композиция компоненттерінің (әсіресе модификациялаушы қоспалардың) құрылыс 3D басып шығару технологиясындағы бетон қоспаларының реотехнологиялық сипаттамаларына әсерін жеткіліксіз зерттегенін көрсетеді. Осыған байланысты келесі кезеңде құрылыс 3D басып шығару технологиясында модификациялық қоспаларды (минералды және химиялық) қолдануды қарастырған жөн.

Құрылыстағы 3D басып шығарудың қолданыстағы технологиялық шешімдерінің әлемдік тәжірибесін талдау [18] құрылыста 3D басып шығару технологиясын жүзеге асыратын отандық және шетелдік ұйымдарды, олардың шикізат қоспаларының құрамы мен қасиеттерін салыстыру бойынша:

№	Компания атаулары	Шикізат қоспасы	Қабаттың ені, мм	Орташа тығыздығы, кг/м ³	Беріктігі, МПа
1	Қытай «WinSun»	Цемент-құм	30-60	2000-2200	8,2
2	Ресей «Спецавия»	Каолин	20-50	2200-2350	30
3	АҚШ «Contour Crafting»	М300- құмбетон	25-50	2250	45-50
4	Ресей «ApisCor»	сульфатқа төзімді цемент пен бөлшектер	40-50	2050	27,4
5	Голландиядағы «Cybe Construction»	ұсақ түйіршікті талшықты бетон	20-30	2200	45
5	Голландиядағы «Cybe Construction»	бетон қоспалары	20-30	2200	45

Аталған компаниялар мәлімдеген құрылыс қоспалары мен олардың негізінде қатайтылған композициялардың қасиеттерінің көрсеткіштері көбінесе жарнамалық және ақпараттық сипатта болады және әрдайым ғылыми зерттеулердің немесе сертификатталған сынақтардың нәтижесі бола бермейді, бұл ғылыми зерттеулерді жоспарлау кезінде көрсетілген деректерді негізді пайдалануға мүмкіндік бермейді. 3D құрылыс принтерінде зертханалық жағдайда ұсынылған кейбір құрамдардың орындалған сынақтары осы болжамды растайды.

Қорытынды

1. Нормативтік құжаттаманы және әдеби дереккөздерді талдау құрылыстағы аддитивті технологиялық процестердің қалыптасуы мен дамуының бастапқы кезеңін көрсетеді, жеткілікті нормативтік құжаттаманың, нұсқаулар мен нұсқаулардың болмауымен байланысты проблемалардың болуын көрсетеді, құрылыс 3D басып шығаруға арналған шикізат қоспаларының құрамын іріктеуді, тағайындауды және өндіріске беруді реттейді.

2. Құрылыс 3D басып шығару үшін негізінен қоспасыз портландцемент негізіндегі және минералды қоспалары бар ұсақ түйіршікті бетондар қолданылатыны анықталды. Экологияның заманауи талаптарын ескере отырып, базалық ретінде қабылданатын қоспасыз портландцементтерден, сондай-ақ Ресейде ең көп өндірілетін белсенді минералды қоспалары бар портландцементтерден басқа, ілеспе өнеркәсіп өнімдерін қамтитын портландцементтерді де қолданған жөн.

3. Әдеби шолу мен талдау негізінде ең жоғары тиімділікке қол жеткізу үшін құрылыс 3D басып шығару технологиясында оңтайлы реотехнологиялық қасиеттерді қамтамасыз ету қажет екендігі анықталды. Бұл жағдайда цемент-құмды ерітінді қоспасының құрылымының формаға төзімділігіне, пластикалық беріктігіне, адгезиясына, ақауына

оның реологиялық және технологиялық сипаттамаларына тәуелділігі жоқ, оларды ұсақ түйіршікті бетонның негізгі құрамын жасау кезінде ескерген жөн.

4. Қоспа құрылыс өндірісінің тиімділігін арттыруға қоспалардың құрамын белсенді минералды, пластификациялаушы, гидрофобизирлеуші және қоспалардың кейбір басқа түрлерімен өзгерту ықпал етеді. Алайда, олардың басылған қабаттардың пішінге төзімділігіне әсері, олардың пластикалық беріктігін теру жылдамдығы, сондай-ақ қатайтылған Композиттердің физика-механикалық сипаттамаларына бірлескен модификаторлардың әсері жеткілікті зерттелмеген.

5. Зерттеу нәтижелерін жалпылау 3D басып шығару әдісімен бетондардың қабатты экструзиясы композиттердің кеуектілігінің жоғарылауына ықпал етеді, әсіресе басылған қабаттардың шекарасында, қалыпталған композиттердің физика-механикалық сипаттамаларына әсер етеді. Осыған байланысты 3D принтерде басып шығарылған модификацияланған композиттердің құрылымының макро-және микроқұрылымын қалыптастыру ерекшеліктерін егжей-тегжейлі зерттеу қажет.

6. Біздің елімізде 3D басып шығарылатын ең көп таралған өнімдер шағын архитектуралық пішіндер болып табылады. Сонымен қатар, қосымша құрылыс өндірісінің технологиялары мен ұйымдары, сондай-ақ 3D басып шығару арқылы өнімді салу кезінде сапаны бақылау жүйесіне аз көңіл бөлінеді, бұл сала аз зерттелген күйінде қалып отыр.

Алғыс айту, мүдделер қақтығысы

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті бағдарламалық-мақсаттық қаржыландыру шеңберінде қаржыландырады (грант № «BR21882278 Аккредиттелген мамандардың толық циклін қамтамасыз ету үшін құрылыс-техникалық инженерлік орталық құру» Қазақстан Республикасының құрылыс, жол құрылысы саласындағы қызметтері)

Авторлардың қосқан үлесі:

Аруова Л.Б., Алдабергенова Г.Б. – тұжырымдаманы құру, зерттеу жүргізу. әдебиетпен жұмыс, зерттеу нәтижелерін талдау және синтездеу.

Кадыров А., Уркинбаева Ж., Сейтказинов О.Д. – зерттеу нәтижелерін талдау және синтездеу және қолжазба мәтінімен жұмыс.

Әдебиеттер тізімі

1. ГОСТ Р 57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 1. Термины и определения. - М.: Стандартинформ, 2017. - 16 с.

2. ГОСТ Р 57590-2017 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 3. Общие требования. - М.: Стандартинформ, 2017. - 16 с.

3. ГОСТ Р 59095-2020 Материалы для аддитивного строительного производства. Термины и определения. - М.: Стандартинформ, 2020. - 20 с.

4. ГОСТ Р 59096-2020 Материалы для аддитивного строительного производства. Методы испытаний. - М.: Стандартинформ, 2020. - 12 с.

5. ГОСТ Р 59097-2020 Материалы для аддитивного строительного производства. Технические требования. - М.: Стандартинформ, 2020. - 11 с.
6. ГОСТ Р 57589-2017 Аддитивные технологические процессы. Базовые принципы. Часть 2. Материалы для аддитивных технологических процессов. Общие требования. - М.: Стандартинформ, 2017. - 12 с.
7. Спецавия. Russian 3D-technologies: [Электронный ресурс]. URL: <https://specavia.pro/foto/3d-pachat/>. (Дата обращения: 05.12.2018).
8. Вахитов М. И. Аддитивные технологии возведения зданий и сооружений с помощью строительного 3D-принтера: 08.04.01 / Вахитов Марат Ильмирович. – Казань, 2018. - 112 с.
9. Волостнов А. Frost & Sullivan: технологии аддитивного производства – рынок, тенденции и перспективы до 2025 года: [Электронный ресурс]. URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/frost-sullivan-additive-manufacturing-technologies-market-trends-and-p/>. (Дата обращения: 30.03.2019).
10. Оспищев П.И. Отраслевые особенности и динамика развития рынка инновационных технологий в строительном секторе / П.И. Оспищев // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2018. - № 10. - С. 157-167.
11. Chen, Y. Improving printability of limestone-calcined clay-based cementitious materials by using viscosity-modifying admixture / Y. Chen, S. Chaves Figueiredo, Z. Li, Z. Chang, K. Jansen, O. Çopuroğlu, E. Schlangen // Cem. Concr. Res. Elsevier Ltd. - 2020. - Vol. 132. - P. 106040.
12. Xu, J. Inspecting manufacturing precision of 3D printed concrete parts based on geometric dimensioning and tolerancing / J. Xu, R.A. Buswell, P. Kinnell, I. Biro, J. Hodgson, N. Konstantinidis, L. Ding // Autom. Constr. Elsevier. - 2020. - Vol. 117. 103233.
13. Когут Е.В. К вопросу формирования свойств композиций для строительной печати / М.Ю. Когут, Е.В. Абсиметов, М.В. Стариков, М.С., Лесниченко, Е.Н, Елистраткин // Сборник материалов международной научно- технической конференции молодых ученых БГТУ им. В.Г. Шухова. - 2017. - С. 1615-1621.
14. ГС-Эксперт: Рынок цемента итоги 2020 года: [Электронный ресурс]. URL: <https://cement.ru/nashi-novosti-i-stati/item/9731-gs-ekspert-rynok-tsementa-itogi-2020-goda.html>. (Дата обращения: 14.04.2021).
15. Удодов С.А. Уточнение состава сухой строительной смеси для 3D- печати методом математического моделирования / А.Е. Удодов, С.А., Белов, Ф.А., Золотухина // Сборник материалов V международной научно-практической конференции «Наука и просвещение». - 2017. - С. 132–138.
16. Зыонг Т.К. Высокопрочные легкие фибробетоны конструкционного назначения: дис. канд. техн. наук: 05.23.05 / Зыонг Тхань Куй. – М., 2020. – 201 с.
17. Хренов Г.М. Проектирование бетонных смесей в технологии непрерывного безопалубочного формования: дисс.канд. техн. наук: 05.23.05 / Хренов Георгий Михайлович. СПб., 2021. - 195 с.
18. Иноземцев А.С. Анализ существующих технологических решений 3D-печати в строительстве / А.С. Иноземцев, Е.В. Королев, Зыонг Т.К. // Вестник МГСУ. - 2018. - № 7(118). - С. 863–876.
19. Славчева Г.С. Реологическое поведение дисперсных систем для строительной 3D-печати: проблема управления на основе возможностей арсенала «Нано» / Г.С. Славчева, О.В. Артамонова // Нанотехнологии в строительстве научный интернет-журнал. - 2018. - № 3(10). - С. 107–122.

20. Slavcheva, G. S. Rheological behavior of 3D printable cement paste: criterial evaluation / O. V. Slavcheva, G. S., Artamonova // Инженерно-строительный журнал. - 2018. № 8(84). - С. 97–108.

Л.Аруова*¹, Г.Алдабергенова², А.Кадыров¹, Ж.Уркинбаева¹, О.Сейтказинов²

¹*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан*

²*Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан*

Особенности технологии формования бетонов на отходах методом 3D печати

Аннотация. В данной статье рассматривается обзор мировой практики в области применения аддитивных технологий и особенностей технологии формования бетона на основе отходов с помощью 3D-печати в строительной отрасли. Начальный этап формирования и развития аддитивных технологических процессов в строительстве технология 3D-печати строительства методом многослойной экструзии является одной из технологий формования бетона и анализируется нормативная документация и литературные источники для определения места исследуемой технологии в аддитивных технологических процессах. На основе литературного обзора и анализа определяется необходимость обеспечения оптимальных реотехнологических свойств в технологии строительной 3D-печати для достижения максимальной эффективности. В статье сформулированы основные технические требования к бетонной смеси по работоспособности и времени установки, а также особенности выбора бетонного состава. Предусмотрена принципиальная возможность получения мелкозернистых бетонов с заданными характеристиками на основе портландцемента. Излагаются результаты исследования с использованием методологии математического планирования и аналитической оптимизации результатов, целью которого является создание научных предпосылок для продвижения 3D-строительства на основе бетона и представлены результаты исследования реологических и физико-механических свойств модифицированного бетона с добавлением специального щелочестойкого стекловолокна для трехмерной строительной печати. В данном случае показаны реологические и технологические характеристики структуры цементно-песчаной растворной смеси на ее формоустойчивость, пластическую прочность, адгезию, дефект. В связи с этим на первом этапе анализируется нормативная документация, а также процессы и методы строительной 3D-печати, состояние рынка аддитивного производства. На втором этапе изучается состав сырьевых смесей, используемых в технологии строительной 3D-печати.

Ключевые слова: 3D-печать, метод многослойной экструзии, мелкозернистая бетонная смесь, аддитивное строительное производство, сырьевая смесь.

Aruova Lyazat*¹, Aldabergenova Gaziza², Kadyrov Abzal¹, Urkinbayeva Zh.¹, Seitzkazinov Orazaly²

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

²*International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan*

Features of the technology for molding concrete based on waste using 3D printing

Abstract. This article provides an overview of world practice in the field of additive technologies and features of waste-based concrete molding technology using 3D printing in the construction industry. The initial stage of the formation and development of additive manufacturing processes in construction 3D printing technology of construction by multilayer extrusion is one of the technologies of concrete molding and regulatory documentation and literature sources are analyzed to determine the place of the technology under study in additive manufacturing processes. Based on the literature review and analysis, the need to ensure optimal rheotechnological properties in the construction 3D printing technology in order to achieve maximum efficiency is determined. The article formulates the main technical requirements for the concrete mix in terms of performance and installation time, as well as the features of the choice of concrete composition. It is possible in principle to obtain fine-grained concretes with specified characteristics based on Portland cement. The results of a study using the methodology of mathematical planning and analytical optimization of the results are presented, the purpose of which is to create scientific prerequisites for the promotion of 3D concrete-based construction and the results of a study of the rheological and physico-mechanical properties of modified concrete with the addition of special alkali-resistant fiberglass for three-dimensional construction printing. In this case, the rheological and technological characteristics of the structure of a cement-sand mortar mixture are shown for its shape stability, plastic strength, adhesion, and defect. In this regard, the first stage analyzes the regulatory documentation, as well as the processes and methods of construction 3D printing, the state of the additive manufacturing market. At the second stage, the composition of raw materials mixtures used in construction 3D printing technology is studied.

Keywords: 3D printing, multilayer extrusion method, fine-grained concrete mix, additive construction production, raw material mix.

References

1. GOST R 57558-2017/ISO/ASTM 52900:2015 Additive manufacturing processes. Basic principles. Part 1. Terms and definitions. - M.: Standartinform, 2017. - 16 p.
2. GOST R 57590-2017 Additive manufacturing processes. Basic principles - part 3. General requirements. - M.: Standartinform, 2017. - 16 p.
3. GOST R 59095-2020 Materials for additive construction production. Terms and definitions. - M.: Standartinform, 2020. - 20 p.
4. GOST R 59096-2020 Materials for additive construction production. Test methods. - M.: Standartinform, 2020. - 12 p.
5. GOST R 59097-2020 Materials for additive construction production. Technical requirements. - M.: Standartinform, 2020. - 11 p.
6. GOST R 57589-2017 Additive manufacturing processes. Basic principles - part 2. Materials for additive technological processes. General requirements. - M.: Standartinform, 2017. - 12 p.

7. Specavia. Russian 3D-technologies: [Electronic resource]. URL: <https://specavia.pro/foto/3d-pechat/>. (Accessed: 05.12.2018).
8. Vakhit I.M. Additive technologies for the construction of buildings and structures using a construction 3D printer: 08.04.01 / Vakhit Marat Ilmirovich. - Kazan, 2018. - 112 p.
9. Volostnov, A. Frost & Sullivan: additive manufacturing technologies - market, trends and prospects until 2025: [Electronic resource]. URL: <https://3dtoday.ru/blogs/news3dtoday/frost-sullivan-additive-manufacturing-technologies-market-trends-and-p/>. (Accessed: 30.03.2019).
10. Ospishchev, P.I. Industry features and dynamics of development of the market of innovative technologies in the construction sector / P.I. Ospishchev // Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. - 2018. - No. 10. - P. 157-167.
11. Chen, Y. Improving printability of limestone-calcined clay-based cementitious materials by using viscosity-modifying admixture / Y. Chen, S. Chaves Figueiredo, Z. Li, Z. Chang, K. Jansen, O. Çopuroğlu, E. Schlangen // Cem. Concr. Res. Elsevier Ltd. - 2020. - Vol. 132. - P. 106040.
12. Xu, J. Inspecting manufacturing precision of 3D printed concrete parts based on geometric dimensioning and tolerancing / J. Xu, R.A. Buswell, P. Kinnell, I. Biro, J. Hodgson, N. Konstantinidis, L. Ding // Autom. Constr. Elsevier. - 2020. - Vol. 117. 103233.
13. Kogut, E.V. On the issue of forming the properties of compositions for construction printing / M.Yu. Kogut, E.V., Absimetov, M.V., Starikov, M.S., Lesnichenko, E.N., Elistratkin // Collection of materials of the International scientific and technical conference of young scientists of BSTU named after V.G. Shukhov. - 2017. - P. 1615-1621.
14. GS-Expert: Cement market results of 2020: [Electronic resource]. URL: <https://cement.ru/nashi-novosti-i-stati/item/9731-gs-ekspert-rynok-tsementa-itogi-2020-goda.html>. (Accessed: 14.04.2021).
15. Udovov, S.A. Clarification of the composition of dry building mixture for 3D printing using mathematical modeling / A.E. Udovov, S.A., Belov, F.A., Zolotukhina // Collection of materials of the V International scientific and practical conference "Science and Education". - 2017. - P. 132-138.
16. Zyong, T.K. High-strength lightweight fiber-reinforced concrete for structural purposes: dis. candidate of technical sciences: 05.23.05 / Zyong Thanh Quy. - M., 2020. - 201 p.
17. Khrenov, G.M. Design of concrete mixtures in the technology of continuous formwork-free molding: diss. candidate of technical sciences: 05.23.05 / Khrenov Georgy Mikhailovich. St. Petersburg, 2021. - 195 p.
18. Inozemtsev, A.S. Analysis of existing technological solutions for 3D printing in construction / A.S. Inozemtsev, E.V. Korolev, Zyong T.K. // Bulletin of MGSU. - 2018. - No. 7 (118). - P. 863-876.
19. Slavcheva, G.S. Rheological behavior of dispersed systems for construction 3D printing: a control problem based on the capabilities of the arsenal "Nano" / G.S. Slavcheva, O.V. Artamonova // Nanotechnology in Construction scientific online journal. - 2018. - No. 3(10). - P. 107-122.
20. Slavcheva, G. S. Rheological behavior of 3D printable cement paste: criterial evaluation / O. V. Slavcheva, G. S., Artamonova // Engineering and Construction Journal. - 2018. No. 8(84). - P. 97-108.

Авторлар туралы мәлімет:

Л.Б. Аруова – т.ғ.д., профессор, «Өндірістік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедра меңгерушісі, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университет, Астана қ, Қазақстан, +7 771 839 88 88, ecoeducation@mail.ru.

Г.Б. Алдабергенова – т.ғ.м., профессордың ассистенті, ЖҚФ декан орынбасары, ХБК (ҚазБСҚА), Алматы қ, +7 747 556 09 40, gaziza_ab@mail.ru.

Кадыров А. – Л.Н.Гумилев атындағы Л.Н.Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университетінің докторанты

Ж.И. Уркинбаева – Л.Н.Гумилев атындағы Л.Н.Гумилев атындағы Еуразиялық ұлттық университет, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, Астана қ, Қазақстан

О.Д. Сейтказинов – т.ғ.к., қауымдастырылған профессор, «Өндірістік және азаматтық құрылыс» кафедра меңгерушісі, ХБК(ҚазБСҚА), Алматы қ.

Л.Б. Аруова – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Технология промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет им. Гумилева, г. Астана, Казахстан, +7 771 839 88 88, ecoeducation@mail.ru.

Г.Б. Алдабергенова – м.т.н., ассистент профессора, заместитель декана факультета общего строительства, МОК(КазГАСА), г. Алматы, +7 747 556 09 40, gaziza_ab@mail.ru.

А.Кадыров– докторант Евразийский национальный университет им. Гумилева, ул.Кажимукана, 13, к.205.

Ж.И. Уркинбаева – старший преподаватель кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», Евразийский национальный университет им. Гумилева, г. Астана, Казахстан.

О.Д. Сейтказинов – к.т.н., ассоциированный профессор, заведующий кафедрой «Промышленно-гражданское строительства», МОК(КазГАСА), г. Алматы.

L.B. Aruova – Doctor of Technical Sciences, Professor, Head of the Department «Technology of Industrial and Civil Engineering», L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, +7 771 839 88 88, ecoeducation@mail.ru.

G.B. Aldabergenova – Master of Technical Sciences, Assistant Professor, Deputy Dean of the Faculty of General Construction, IEC (KazGASA), Almaty, +7 747 556 09 40 , gaziza_ab@mail.ru.

Kadyrov A. – doctoral student of L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Zh.I. Urkinbaeva – Senior Lecturer of the Department of “Technology of Industrial and Civil Construction”, L.N.Gumilyov ENU, Astana, Kazakhstan

O.D. Seitkazinov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department «Of Industrial and Civil Engineering», IEC (KazGASA), Almaty



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



XҒТАР 691.12

Шолу мақала

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-97-113>

Құрылыс 3D басып шығару технологиясында қалдық негізіндегі модификациялық қоспаларды пайдалану

Алдабергенова Газиза^{1*}, Джексембаева Асель², Конканов Марат²,
Кадыров Абзал², Байдаулет Жұлдызай²

¹Халықаралық білім беру корпорациясы, Алматы, Қазақстан

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

(E-mail: 1ecoeducation@mail.ru)

Аңдатпа. Құрылыс индустриясында инновациялық 3D басып шығару технологияларының енгізілуі материалдардың тиімділігі мен экологиялық тұрақтылығын арттыруға мүмкіндік береді. Осы технологияның дамуымен қатар, қалдық материалдарды қолдану арқылы модификациялық қоспалар жасау қажеттілігі туындады. Бұл зерттеу қалдық негізіндегі модификациялық қоспалардың құрылыс 3D басып шығару технологиясында қолданылуын қарастырады.

Қабатты экструзия әдісімен қалыптасқан ұсақ түйіршікті бетондардың негізгі физика-механикалық қасиеттері мен беріктігі шикізат қоспаларының құрамына, өзара әрекеттесу жағдайына және реотехнологиялық қасиеттердің берілген кешені бар цементтерді, ерітінділерді және бетондарды алу кезінде модификациялық қоспасын қолданудың жоғары тиімділігін көрсету.

Зерттеу барысында қалдық материалдардың қасиеттері зерттеліп, олардың 3D басып шығару үшін пайдаланылатын құрылыс қоспаларының құрамында қолданылу мүмкіндігі талданады. Қалдық материалдардың тиімділігін және олардың құрылыс материалдарының физикалық-механикалық қасиеттеріне әсерін анықтау мақсатында түрлі эксперименттер жүргізілді.

Нәтижесінде, қалдық негізіндегі модификациялық қоспалар құрылыс 3D басып шығару технологиясында құрылыс материалдарының беріктігін, тұрақтылығын және экологиялық достығын арттыруға ықпал ететіні анықталды. Бұл тәсілдердің экологиялық тиімділігі мен экономикалық пайдаларын қарастыра отырып, құрылыс саласында жаңа мүмкіндіктер мен шешімдер ұсынуға бағытталған.

Түйін сөздер: 3D басып шығару, портландцемент, ұсақ толтырғыш, белсенді минералды қоспа, модификациялық қоспа, химиялық қоспа, шөгү деформациясы, реотехнологиялық қасиеттері.

Түсті 12.03.2024. Жөнделді 12.09.2024. Мақұлданды 12.09.2024. Онлайн қолжетімді 30.09.2024

^{1*}хат-хабар үшін автор

Кіріспе

3D басып шығару (көбінесе *жылдам прототиптер* немесе *қоспа өндірісі* деп аталады) – компьютерлік 3D үлгілерін физикалық объектілерге қабатты басып шығару процестері арқылы айналдыруға мүмкіндік беретін өндірістік процесс.

Құрылыста 3D басып шығару технологиясында қалдық негізіндегі модификациялық қоспаларды пайдалану – экологиялық тұрақтылықты қамтамасыз ету мен ресурстарды үнемдеудің тиімді жолы. Мұндай қоспалар құрылыс материалдарының физикалық және механикалық қасиеттерін жақсартып, сонымен қатар экологиялық әсерін төмендетуге мүмкіндік береді. 3D басып шығару арқылы құйылған ұсақ түйіршікті бетондардың сапасы мен беріктігін арттыру, оның ақаусыз қабаттасуы үшін жеткілікті пішінге төзімділігі мен беріктігі, сонымен қатар қабаттардың жоғары адгезиясы және құрылымның оңтайлы болуы үшін шикізат қоспасының құрамын әзірлеу әлі де толық зерттеуді қажет етеді.

Қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен қалыпталатын қоспалардың реотехнологиялық қасиеттеріне қойылатын талаптарды анықтау арқылы ұсақ түйіршікті бетондарды алу негізінде жарықтардың пайда болуын азайту үшін және цемент шығынының артуынан пайда болған шөгуде деформацияларының дамуын тудыратын, беріктік шегін жоғарылату және үзіліссіз, бос қалыптауды қамтамасыз ету мақсатында қажетті біртұтас қоспаны алу үшін пластификациялаушы қоспаларды пайдалану қажет. Пластификациялаушы қоспаны қолдану арқылы ұсақ түйіршікті бетон қоспасын жабу суының мөлшерін азайту оның беріктігі мен пішінге төзімділігін арттыруға ықпал етеді.

Құрылыс саласында 3D басып шығару қабатты экструзия технологиясында ұсақ түйіршікті бетондардың құрамында гидрофобизациялық қоспаларды пайдалану ол ылғалдың айтарлықтай біршама азаюынан пайда болған жарықтар мәселелерін төмендетуге мүмкіндік беретіндігін, сонымен қатар бұл беріктік көрсеткіштерін атап айтқанда суға төзімділік, аязға төзімділік және т.б. қасиеттерінің артқаны зерттелді. Цемент композицияларының құрамындағы гидрофобты қоспалардың артуы ылғалдандыру процестерін төмендетуге ықпал етеді, яғни 3D басып шығару технологиясында қалдық негізіндегі модификациялық қоспаларды пайдалану арқылы үзілістің ұзақтығын арттыру болып табылады.

Бұл зерттеудің мақсаты қалдық негізіндегі модификациялық қоспалардың құрылыс 3D басып шығару технологиясында қалай тиімді пайдалануға болатынын зерттеу болып табылады. Қалдық материалдардың 3D басып шығару үшін қолданылатын құрылыс материалдарының қасиеттеріне әсерін анықтау және осы технологияның экологиялық тиімділігін арттыру бағытындағы мүмкіндіктерді қарастыру маңызды.

Біз мақалада белсенді минералды және химиялық қоспалар кешені бар ұсақ түйіршікті бетон қоспаларының құрамын өзгерту арқылы құрылыстағы қоспалар өндірісін жетілдіруді қарастырамыз.

Жоғарыда айтылғандарға сәйкес қабатты экструзия әдісімен қалыптау үшін ұсақ түйіршікті бетондардың құрамын жетілдіру бағыттары тұжырымдалған:

– белсенді минералды қоспалардың оңтайлы түрі мен мөлшерін енгізу арқылы ұсақ түйіршікті бетон қоспасын неғұрлым тығыз және біртекті құрылымға келтіру;

– қажетті реотехнологиялық қасиеттердің ұсақ түйіршікті бетон қоспасын беру, Шикізат қоспасының бастапқы құрылымын қалыптастыру және қатаю кинетикасын және пластификациялаушы қоспаның оңтайлы түрі мен мөлшерін енгізу арқылы қатайтылған композиттің беріктік қасиеттерін жеделдету;

– гидрофобизациялаушы қоспаны енгізу арқылы судың азаюы мен басқа да көрсеткіштердің (3D-басып шығару кезінде технологиялық үзілістің ұзақтығын ұлғайту мүмкіндігін қамтамасыз ететін гидратацияны баяулату) қоспасын ұсақ түйіршікті бетонға беру, сондай-ақ пластификациялаушы, гидрофобизациялаушы қоспалар мен БМҚ-ны қамтитын кешенді қоспаның құрамын оңтайландыру.

Әдеби деректерді талдау және алдын-ала жүргізілген эксперименттік зерттеулердің нәтижелері негізінде жұмыс гипотезасы тұжырымдалды.

Жоғарыда келтірілген мәселелер бойынша шолу мақаласында келесі тараулар қарастырылады. Әр тараудағы зерттеулердің нәтижелері қарастырылатын тарауларда келтірілген.

Әдіснама

Бетон қоспаларына белсенді минералды қоспаларды енгізу цемент шығынын үнемдеуге, цемент тасының тығыздығын, суға төзімділігін арттыруға және өткізгіштігін төмендетуге мүмкіндік береді.

БМҚ саласындағы нормативтік құжаттарды қарастыра отырып, келесі жіктеулерді бөліп көрсетеміз. ГОСТ 56592-2015 [3] минералды қоспалардың белсенділігінің механизмі мен дәрежесі бойынша БМҚ-ды тұтқыр, кеңейтетін және поцзоланикалық қасиеттерге бөледі. Поцзоланикалық белсенділіктің көріну дәрежесі бойынша БМҚ жоғары, орташа және төмен поцзоланикалық белсенділікке бөлінеді. ГОСТ 24640-91 сәйкес [4] белсенділік түріне байланысты цементтерге арналған БМҚ әдетте гидравликалық қасиеттері бар қоспаларға және поцзоланикалық қасиеттері бар қоспаларға бөлінеді. Сәйкес ГОСТ 31108-2016 [5] цементтің негізгі компоненттері ретінде минералды қоспалар ретінде түйіршікті домна немесе электротермофосфор шлактары, белсенді минералды қоспалар – поцзоландар (табиғи немесе жасанды, отын күлдері, соның ішінде қышқыл немесе негізгі күл-алып кету, микро кремний диоксиді, глиж және күйдірілген тақтатастар) және толтырғыш-әктас қоспасы тиісті нормативтік құжаттамаға сәйкес қолданылады.

БМҚ-ны цементтерге, бетондарға және ерітінділерге жіктеуді талдау, нормативтік дереккөздерге сәйкес, қоспалардың реологиялық қасиеттеріне әсер ету критерийі бойынша олардың бөлінбегенін көрсетеді, бұл БМҚ-ны қабатты экструзия әдісімен 3D басып шығару технологиясында қолдану тиімділігінің маңызды шарты болып табылады.

Осы мәселе бойынша әдеби деректерді талдау В.И. Калашников [22] әзірлеген жоғары дисперсті минералды компоненттердің жіктелуін анықтауға мүмкіндік береді, бұл олардың реологиялық қасиеттерге әсерін белгілі бір дәрежеде ескереді.

Осы жіктеуге сәйкес үш топқа бөлінеді:

1. Реологиялық белсенді (реактивті-жасырын) қоспалар, олар жеткілікті мөлшерде сумен және суперпластификаторлардың қатысуымен жеке немесе цемент қоспасында жақсы сұйылтылған суспензиялар түзеді, ал судың орташа жетіспеушілігімен және тұрақтандырғыш қоспаларды енгізгенде тығыз біртекті пластикалық минералды масса түзеді.

2. Олар реактивті-инертті (әктас, доломит) немесе химиялық белсенді емес болуы мүмкін, цементтің гидратация өнімдерімен (кварц немесе кварцит ұны, гранит, диабаз, габбро, базальт) өзара әрекеттесуі баяулайды. Сумен жабылған кезде өздігінен қатып қалмайтын, бірақ цементтің гидратация өнімдерімен әрекеттесіп, қосымша цементтейтін қосылыстар түзетін реактивті қоспалар.

3. Бөлшектер бетінің мозаикалық заряды бар кейбіреулері реологиялық белсенділікке ие. Теріс заряды бар басқалары реологиялық белсенді емес, бірақ цементпен қоспада бетті қайта зарядтау кезінде агрегативті тұрақты суспензиялар пайда болады (микрокремнезем, дегидратацияланған каолин, жанартау күлдері, әйнектер, трассалар және т.б.).

4. Минералды компоненттері сумен өздігінен қатып қалмайтын реологиялық және реактивті қоспалар. Бұл санатқа, ең алдымен, металлургия мен жылу энергетикасының кейбір техногендік қалдықтары жатады. Бұл түрдегі ең танымал қоспалар-бұл портландцементпен салыстырғанда әлдеқайда аз көлемде өндірілетін және барлық елдерде бола бермейтін домна шлактары мен күл.

Жоғарыда аталған қоспалар топтарын қолдану тәжірибесін қарастыра отырып, цементпен және 1% пластификациялаушы қоспамен бірге ұнтақтау кезінде жұмыста реологиялық белсенді қоспа ретінде-ұсақ ұнтақталған әк ұнын (бөлшектердің мөлшері 2,9 мкм) қолдануды атап өткен жөн. Авторлар 12,5 см қозғалғыштығы бар бетон қоспасын алды, бұл қабатты экструдтау 3D басып шығару кезінде мұндай қоспаларды қолдану талаптарын қанағаттандырмайды.

Сонымен қатар, авторлар алған үлгілерде бетонның беріктік көрсеткіштерінің біршама төмендеуі байқалады.

Құрылыс 3D басып шығару технологиясында химиялық қоспаларды қолдану мәселесін қарастыра отырып, ұсақ түйіршікті бетон қоспалары мен бетондарға тән кемшіліктерді атап өткен жөн [1]: цемент шығынының жоғарылауы, айтарлықтай су-цемент қатынасы, нәтижесінде шөгуде деформацияларының дамуы, жарықтар пайда болуы, қабаттарды төсеу кезінде айтарлықтай үзілістерде тігістердің төмен адгезиясы. Кеңінен қолданылатын жылжымалы бетон қоспалары үшін белгіленген кемшіліктерді жою әр түрлі әсер ететін химиялық қоспаларды қолданған кезде, сондай-ақ белсенді минералды қоспалармен бірге сәтті жүзеге асырылады. Қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен қалыптау кезінде оларды қолдану тиімділігін төмендететін ұсақ түйіршікті бетон қоспаларының басқа кемшіліктері-бұл өнімнің геометриясы мен бетінің сапасын бұзатын бетон қоспасының төмен байланысы.

Қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен бетонды қалыптау технологиясының маңызды ерекшелігі – құйылатын бетон қоспасын экструзиядан кейін тығыздауға бағытталған технологиялық кезеңнің болмауы. Осылайша, дайын өнімдер жоғары

кеуектілікпен, орташа тығыздығымен, беріктігімен және осы құбылысқа байланысты басқа қасиеттерімен сипатталады. Бұл композиттердің тығыздығын арттырудың және кеуек құрылымын оңтайландырудың басқа балама әдістерінің әлеуетін барынша толық пайдалану қажеттілігін тудырады, мысалы, әр түрлі әсер ететін қоспалармен бетон қоспаларын химиялық модификациялау.

Бетонға арналған химиялық қоспалардың жалпы сипаттамасы ГОСТ 24211-2008 келтірілген, осыған сәйкес:

1. Бетон және ерітінді қоспаларының қасиеттерін реттейтін қоспалар (пластификациялайтын, сутектендіретін, тұрақтандыратын, қозғалғыштығының сақталуын реттейтін, ауа- (газ) құрамын арттыратын);

2. Бетондар мен ерітінділердің қасиеттерін өзгертетін қоспалар: қатаю кинетикасын реттейтін, беріктігін арттыратын, өткізгіштігін төмендететін, болат арматураға қатысты қорғаныс қасиеттерін арттыратын, аязға төзімділікті арттыратын, коррозияға төзімділікті арттыратын және кеңейтетін;

3. Бетондар мен ерітінділерге арнайы қасиеттер беретін қоспалар: аязға қарсы, гидрофобты және фотокаталитикалық.

Байланыстырғыштар мен бетондардың құрылымдық түзілу процестерін реттеудің едәуір үлкен мүмкіндіктері әр түрлі кластарға жататын заттардан тұратын екі немесе бірнеше негізгі әсер ететін полифункционалды қоспаларға ие. Іс-әрекеттің синергиясына ие бола отырып, олар әр қоспаның жеке-жеке беретін пайдалы әсерін өзара күшейтеді және жеке қоспалардың жағымсыз қасиеттерін жояды.

Қабатты экструзия 3D басып шығару технологиясында қолдануға арналған химиялық қоспаларды таңдауды анықтайтын маңызды аспект-олардың әртүрлі қозғалғыштықтағы бетон қоспаларында жұмысының тиімділігі. Әр түрлі химиялық және минералды құрамдағы цемент композицияларындағы белгілі бір химиялық қоспалардың тиімділігі, сондай-ақ қозғалғыштығы айтарлықтай айырмашылықтарға ие болатыны белгілі.

Екінші жағынан, қоспалардың тиімділігіне олардың химиялық құрамы айтарлықтай әсер етеді. Мәселен, А.И. Вовк [21], басқалары тең болған жағдайда, поликарбонаттардағы бүйірлік тізбектерді егу жиілігінің рөлі олардың адсорбциясын және құрама немесе тауарлық бетонда (әр түрлі қозғалғыштықта) қолданудың артықшылығын анықтайды.

Жұмыста пластификациялайтын және ауа тартатын қоспаларды – Полипласт ПҚ 328 бетон және темірбетон бұйымдары мен құрылымдарын үздіксіз пішінсіз қалыптау технологиясында қатты бетон қоспаларының құрамында қолданудың тиімділігі көрсетілген, оларды пайдалану қалыптау машинасының қозғалыс жылдамдығын арттыруға, термиялық өңдеу уақытын азайтуға және беріктік көрсеткіштерін арттыруға мүмкіндік береді олар – В30, В40 санаттағы бетон, бетон қоспасының байланысын, өнімнің геометриясын және бетінің сапасын жақсарту болып табылады.

«Полипласт ПҚ 328» қоспасынан басқа, пішінсіз қалыптау және дірілді басу желісі үшін экструзия технологиясында қолданылатын бірдей тиімді қоспаларды – беттік белсенді натрий тұздары мен алкил сульфаттарының «полипласт ПҚ» қоспасын бөліп

көрсету керек, «мойынтіректердің әсері» және «Вибропласт» әрекет ету механизмі деп аталатынға негізделген.

Оларды қатты бетон қоспаларына енгізу өнеркәсіптік қалыптау кезінде қалыпталған бұйымдар құрылымының тығыздығы мен біркелкілігін арттыруға, қоспаның жұмысқа қабілеттілігін арттыруға, мөртабанға бетонның жабысуын азайтуға, бұйымдардың сыртқы түрін яғни бетінің сапасын жақсартуға, діріл әсерінен бұйымдардың жарылып кетуіне жол бермеуге мүмкіндік береді, әсіресе жұқа қабырғалы бұйымдар үшін. Бетон қоспасының байланыстылығын, жұмысқа қабілеттілігін жақсарту, қалыптау кезінде қажетті геометрияны қамтамасыз ету, тығыздық пен беріктікті арттыру, сондай - ақ қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен бетон қоспасын қалыптау технологиясында жабдықтың жұмыс органдарына бетонның жабысуын азайту сияқты қасиеттеріне қол жеткізу өте маңызды.

Сондықтан 3D басып шығару технологиясындағы осы қоспалардың тиімділігін зерттеу айтарлықтай қызығушылық тудырады.

№	Қоспалар атауы	Қолдану тиімділігі
1	Реологиялық белсенді (реактивті-жасырын) қоспалар	Сумен және суперпластификаторлардың қатысуымен жеке немесе цемент қоспасында жақсы сұйылтылған суспензиялар түзеді, ал судың орташа жетіспеушілігімен және тұрақтандырғыш қоспаларды енгізгенде тығыз біртекті пластикалық минералды масса түзеді.
2	Реактивті-инертті (әктас, доломит)	Цементтің гидратация өнімдерімен (кварц немесе кварцит ұны, гранит, диабаз, габбро, базальт) өзара әрекеттесуі баяулайды. Сумен жабылған кезде өздігінен қатып қалмайтын, бірақ цементтің гидратация өнімдерімен әрекеттесіп, қосымша цементтейтін қосылыстар түзетін реактивті қоспалар.
3	Реологиялық және реактивті қоспалар	Минералды компоненттері сумен өздігінен қатып қалмайтын қоспалар. Бұл санатқа, ең алдымен, металлургия мен жылу энергетикасының кейбір техногендік қалдықтары жатады. Бұл портландцементпен салыстырғанда әлдеқайда аз көлемде өндірілетін және барлық елдерде бола бермейтін домна шлактары мен күл.
4	Полипласт ПҚ 328	Бетон және темірбетон бұйымдары мен құрылымдарын үздіксіз пішінсіз қалыптау технологиясында қатты бетон қоспаларының құрамында қолдану тиімді, оларды пайдалану қалыптау машинасының қозғалыс жылдамдығын арттыруға, термиялық өңдеу уақытын азайтуға және беріктік көрсеткіштерін арттыруға мүмкіндік береді олар - В30, В40 санаттағы бетон, бетон қоспасының байланысын, өнімнің геометриясын және бетінің сапасын жақсарту болып табылады.

Қабатты экструзия әдісімен қалыптау технологиясында қолданылатын отырықшы бетон қоспалары үшін, жоғарыда қарастырылған қатты бетон қоспаларына арналған пластификациялық қоспалардан басқа, әртүрлі композициялар мен химиялық негіздері бар басқа пластификациялық қоспалар тиімді болуы мүмкін.

Нәтижелер мен талқылау

Реактивті қоспалар тобын қарастыра отырып, ұсақ түйіршікті бетондарға негізделген өнімдердің беріктігін арттыру мақсатында микро кремний диоксидін қолданудың тиімділігін атап өткен жөн, оны 12% мөлшерінде енгізу сығымдау беріктігін 55% – ға дейін, иілу үшін 14% - ға дейін арттыруға мүмкіндік береді, бұл бос кальций гидроксидін төмен негізді кальций гидросиликаттарына байланыстыруға байланысты. Сондай-ақ, белгілі бір температурада күйдірілген және 250...800 м²/кг балшыққа дейін ұнтақталған реактивті қоспалар ретінде қолдану белгілі, бұл цемент тасының орташа тығыздығы мен жұмсарту коэффициентін арттыруға мүмкіндік береді. Мұнай-химия синтезінің қалдық катализаторы – метакаолин, диатомит, биокремнезем, трепел, алюмосиликат, ферросилиций [6] реактивті қоспалар ретінде қолданылуы белгілі.

Мақалада [7] жаңа буын бетондарын өндіру үшін шикізатты таңдағанда, бетонның өзіндік құнын төмендетуге мүмкіндік беретін реологиялық және реактивті қоспаларға артықшылық беру ұсынылады. Мұндай қоспаның ең қолайлы түрі ретінде авторлар қоңыр көмірді жағу кезінде пайда болатын жұқа күлді пайдаланады. Оны қолданудың тиімділігі бірнеше факторларға байланысты: олардың химиялық және минералды құрамының цемент клинкерінің құрамымен ұқсастығы, суперпластификаторлардың әсерінен жоғары реологиялық қасиеттері және күшті қатайтылған тасты қалыптастыру үшін гидравликалық белсенділігі; көп мөлшерде бос әктің болуы қамырдың тез қалыңдауына және ерте беріктікке ықпал етеді.

Құрылыста қолданылатын реологиялық және реактивті қоспалар тобының тағы бір түрі - бұл беріктік көрсеткіштеріне жауап беретін кальций гидросиликаттарының әртүрлі құрамы бар силикат жүйелерін құру үшін химиялық реакциялардың көбеюіне ықпал ететін көп компонентті жүйе болып табылатын домна пешінің шламы. Мақалада [8] ұсақ түйіршікті бетонның құрамына 10...50% мөлшерінде домна шламын енгізу беріктікті 12%-ға, ал тығыздықты 7%-ға арттыруға, суды сіңіруді 5% - ға төмендетуге мүмкіндік беретіндігі көрсетілген, бұл дайын ұсақ түйіршікті бетон бұйымдарының пайдалану қасиеттерін қалыптастыруға оң әсер етеді. Сонымен қатар, авторлар алған үлгілер М250 ұсақ түйіршікті бетон маркасын қамтамасыз етеді.

Авторлар жұмыста цементті гидратациялау өнімдерінің аналогтары бар сульфоалюминат клинкеріне (САК) негізделген микродисперсті қоспаларды енгізу цементке қосылған кезде оны ылғалдандыру процесін күшейтетінін анықтады, бұл сайып келгенде цемент тасының ерте қатаюын жеделдетуге ықпал етеді.

Бірқатар жұмыстар әртүрлі минералды қоспаларды 3D басып шығару технологиясы үшін цемент жүйелерінде қолдану тиімділігін көрсетеді: метакаолин [9-11], бентонит түріндегі саз [11,12], диатомит [13], микрокремнезем [11], биокремнезем [14] және т. б. сонымен қатар, қалыпталатын массалардың пластикалық қасиеттерін реттеу үшін каолин қолданылады, волластонит [15].

Бетон технологиясында белгілі бір қоспалардың қолданылуының маңызды шарты олардың әсер ету тиімділігі болып табылады, оны әртүрлі критерийлермен анықтауға болады: кальций гидроксидінің қаныққан ерітіндісінен АМД сіңірілген кальций

оксидінің (СаО) мөлшері бойынша [3], бетіндегі адсорбциялық орталықтар мен әртүрлі белсенділік катиондарының бөлшектерінің болуына байланысты энергия потенциалы бойынша және т.б.

В.С. Лесовик қолданылатын минералды қоспаның тиімділігін бағалау критерийі ретінде тиімділік коэффициентін енгізілетін қоспаның 1%-на бақылаусыз құрамға қатысты беріктіктің пайыздық төмендеуінің кері шамасы ретінде пайдалануды ұсынады:

$$\% \text{ қоспа құрамы} / (R_k - R_d) * 100 / R_k \quad (1)$$

мұндағы R_k – бақылау құрамының беріктігі, МПа; R_d – қоспа мен құрамның беріктігі, МПа.

Бұл тиімділік коэффициенті БМҚ-ның қабатты экструзия әдісімен 3D басып шығару технологиясындағы беріктік көрсеткіштеріне әсерін бағалауда пайдалы болуы мүмкін.

Алайда, қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен қалыптауға арналған бетон қоспаларын әзірлеу кезінде реотехнологиялық қасиеттерге ерекше назар аудару керек, бұл өз кезегінде төменгі қабаттардың таралуына байланысты геометрияның өзгеруіне әсер етеді, бұл көбінесе қалыпталған өнімнің сапасын анықтайды, бұл формуламен ескерілмейді (1).

Қазіргі уақытта қабатты экструзия әдісімен құрылыс 3D басып шығару тиімділігінің критерийі жоқ, ол модификациялаушы қоспалардың, атап айтқанда БМҚ болуына байланысты төменгі қабаттардың таралуы салдарынан құрылыс өнімдерінің геометриясының өзгеруін ескереді.

Пластификациялаушы қоспалардың құрамы мен химиялық негіздерінің алуан түрлілігі, бетонның құрамына және қалыптау әдісіне байланысты пластификациялаушы қоспалардың әртүрлі топтарының тиімділігі туралы көптеген деректердің болуы, сондай-ақ олардың қабат-қабат экструзия 3D-басып шығару әдісімен қалыпталатын ұсақ түйіршікті бетондардың қасиеттеріне әсері туралы эксперименттік деректердің болмауы одан әрі зерттеулер жүргізу кезінде ғылыми қызығушылық тудырады.

А.И. Вовк [21] пластификациялаушы қоспаларды ескере отырып, химиялық қоспаларды қолдану арқылы толығымен жойылмайтын бетон қоспасының пластикалық шөгуге байланысты жарықшақтардың пайда болу проблемасының бар екендігін атап өтеді. Бұл проблема EN 206-1 сәйкес ең қолайлы жағдайларда да яғни белсенді цементтерді, В/Ц қатынасы төмен композицияларды қолданған кезде, күн радиациясы мен жоғары ылғалдылық болмаған кезде кем дегенде бір тәулік, қолайсыз жағдайларда – он күнге дейін болуы керек қалыпта бетонды ұстау мерзімін қысқарту кезінде күрделене түседі. Бұл ылғалдың айтарлықтай жоғалуын болдырмауға және цементті ылғалдандырудың қалыпты жағдайларын қамтамасыз етуге және қатайтатын композиттің микроқұрылымын қалыптастыруға байланысты.

Бұл мәселе қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен бетондарды қалыптаудың палубасыз әдісімен ерекше өзектілікке ие болады, өйткені бұл сөзсіз ашық беткі модульге әкеледі, бұл бетон денесінен ылғалдың айтарлықтай жоғалуына және пластикалық шөгуге байланысты жарықтардың пайда болуына әкеледі.

Қазіргі уақытта бұл мәселе, ең алдымен, оңтайлы температура мен ылғалдылық жағдайларын қамтамасыз етуден тұратын қатаю процесінде бетонды күтудің екі әдісімен шешіледі: бетті ылғалдандыру, ылғал материалдармен жабу, мысалы, дымқыл үгінділер және т.б., сондай-ақ мембраналық жабындарды қолдану-қалыптасқан бұйымдар мен құрылымдарға қолданылатын пленка түзетін қосылыстар, мысалы, парафинді эмульсиялар, гидрофобизаторлар.

Айта кету керек, В/Ц қатынасы төмен бетондар үшін бетонды суарумен қамтамасыз етілген «ылғалды қатаю» ең қолайлы болып табылады, бірақ бұл әдіс мембраналық жабындарды қолданумен салыстырғанда көп уақытты қажет етеді, 3D басып шығаруда аз технологиялық және сыртқы климаттық факторлардың көріністеріне көбірек тәуелді. Мәселен, мысалы, төменгі қабаттарды суару кезінде суды капиллярлық сору жаңа төселген жоғарғы қабаттың В/С қатынасына және соның салдарынан оның сапасына әсер етеді.

Жоғарыда аталған кемшіліктер қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен қалыптасқан бетондағы жарықтар проблемаларын шешуде осы әдісті толық пайдалануды жоққа шығармайды. Бұл әдіспен ең үлкен тиімділікке оны мембраналық жабындармен бірге қолдану арқылы қол жеткізіледі, бұл төтенше жағдайларда, мысалы, ыстық климат жағдайында бетон жұмыстарын жүргізу кезінде ашық беттерден ылғалдың жоғалуын болдырмайды.

Пленка түзетін (химиялық) мембраналық жабындарды, атап айтқанда гидрофобты қоспаларды қолдану атмосфералық жауын-шашыннан туындаған жаңа төселген бетонның эрозиясын (және басқа ақауларды) болдырмауға немесе азайтуға мүмкіндік береді. Қабатты экструзия әдісімен қалыптау кезінде алынған ұсақ түйіршікті бетондардың құрылымы мен қасиеттеріне көлемді және беттік қолдану әдістеріндегі гидрофобизациялық қоспалардың әсерін зерттеуге байланысты туындаған сұрақ өзекті болып табылады және эксперименттік және теориялық зерттеулерді қажет етеді.

Ұлттық Зерттеу Мәскеу Мемлекеттік Құрылыс Университетінде жүргізілген зерттеулерді [2,16] атап өткен жөн. Портландцементті ылғалдандыру процестеріне ішкі күтімді қамтамасыз ету үшін авторлар натрий полиакрилатына негізделген суперабсорбциялаушы полимер ерітіндісін қолдануды ұсынады. Бұл компоненттің ПЦ массасының 0,5-1,5% мөлшеріндегі құрамы қоспалардың қажетті қозғалғыштығын және цемент тастың беріктігін сақтай отырып, салыстырмалы ылғалдылығы 70%-дан аз жағдайларда ылғалдану процестерінің жүруін қамтамасыз етеді.

Авторлар жұмыста [17] СЭМ және РКТ әдістерімен әктас ұнтағымен, кальцийленген сазбен, поликарбонат эфирлеріне негізделген пластификациялаушы қоспамен және 3D басып шығару әдісімен пішінделген тұтқырлық модификаторымен модификацияланған портландцемент ЦЕМ I 52,5 Б-де ұсақ түйіршікті бетонның құрылымдық түзілу ерекшеліктері зерттелді. Диаметрі 10-1000 мкм болатын кеуектердің едәуір көлемі баспа үлгілері қабатының аймағында біркелкі бөлінгені анықталды, үлкен кеуектер (1000...6000 мкм) негізінен басылған қабаттардың шекарасында шоғырланған. Сонымен қатар, кеуектердің көпшілігі тұрақты емес және ұзартылған, бұл авторлардың пікірінше [17] 3D басып шығару технологиясындағы экструзия процестеріне байланысты болуы мүмкін.

Сонымен қатар, ең тиімді болып табылатын беттік белсенді заттар мен электролиттерді қамтитын кешенді модификаторларды (көпфункционалды әрекет) бөліп көрсету керек. Сонымен, ылғалдану процестерінің баяулауында және бетонның жалпы кеуектілігінің жоғарылауында көрінетін пластификация және гидрофобизация қоспаларының теріс әсерін үдеткіш қоспалармен жоюға болады. Осы топтың ішінде құрамында кремний – органикалық қосылыстар мен электролиттер бар модификаторларды бөліп көрсетуге болады (ГКЖ-10 + НК), (ЛСТ + ГКЖ-94 + СН). Олар бетондардың жеткілікті жоғары қатаю жылдамдығын және олардың жоғары аязға төзімділігі мен коррозияға төзімділігін қамтамасыз етеді. Авторлар жұмыста карбоксилатты полиэфирмен «Одолит-К» біріктірілген сульфат-сода қоспасы (ССК) негізінде әзірленген кешенді қоспаның тиімділігін зерттеді. Оларды бірлесіп қолдану алғашқы тәулікте беріктіктің 70-96% - ға артуына әкелетіні көрсетілген, ал маркалық беріктігі де айтарлықтай артады (60% - ға). Осылайша, ұсынылған кешенді қоспаның тиімділігі компоненттердің жеке жұмысының тиімділігінен 2-3 есе көп.

Цемент композицияларының құрамына органоминаралды кешендерді енгізу олардың құрылымдық-механикалық қасиеттерін ғана емес, сонымен қатар технологиялық қасиеттерін де реттеуге мүмкіндік береді. Сонымен, авторлар жұмыста цемент композицияларында полифенилэтоксисилоксан, полиакриламид және метакаолин негізіндегі органоминаралды модификаторды қолданудың тиімділігін көрсетеді, бұл олардың иілу беріктігі, аязға төзімділігі, судың сіңуін төмендету сияқты физикалық-механикалық сипаттамаларын арттыруға мүмкіндік береді. Авторлар иілу кезінде цемент композицияларының беріктігін арттыру үшін жұмыста «Melment F-10» пластификациялаушы қоспасына және минералды компонент – ұсақ ұнтақталған вулканогенді-шөгінді жыныстарға негізделген қоспаны қолдану мүмкіндігі зерттелді. Бұл модификаторды пайдалану иілу кезінде беріктік шегінің бақылау құрамымен салыстырғанда 35%-ға артуына әкеледі.

Органикалық минералды қоспалардың технологиялық қасиеттерге әсері жұмыста қарастырылады. Авторлар қарастырылып отырған органоминаралды модификаторлардың ішінде ең үлкен ұтқырлыққа (ОК = 27 см) күл-тасығыштан, вьетнамдық күріш қабығының күлінен және «Sika ViscoCrete 5-New» пластификациялаушы қоспасынан тұратын органоминаралды кешені бар бетон қоспалары, ең аз қозғалғыштығы (ОК = 22 см) күл-тасығыштан жасалған органоминаралды кешені бар, вьетнамдық күріш қабығының күлі және С-3 суперпластификаторы.

В.Г. Шухова [18,19] поливинилацетат дисперсиясының ұсақ түйіршікті бетонын рецептураға енгізу аддитивті технологиялар үшін полимерцемент композит беріктігін, соның ішінде қабаттар арасындағы адгезиялық тігісті арттыруға мүмкіндік беретіні көрсетілген. Бұл жұмыстың маңыздылығын төмендетпей, өнеркәсіптік 3D принтерде алынған нәтижелерді өндірістік сынақтан өткізу туралы деректердің жоқтығын атап өткен жөн. Өндірілген үлгі негізі мен қолданылатын қабат зертханалық жағдайда, болжамды құю арқылы жасалады, бұл алынған нәтижелерді 3D принтерде кейіннен тексеруді қажет етеді.

Н.О. Копаница (ТМҚСУ) [20] жұмысында көрсетілген нәтижелер тиксотропты қасиеттерінің жоғарылауы тұрғысынан цемент-құм қоспасына полиакриламидтің аз мөлшерін қолданудың тиімділігін көрсетеді, бірақ сонымен бірге қоспаның су ұстау қабілетінің төмендеуі байқалады және сайып келгенде қоспаның стратификациясына әкелуі мүмкін, бұл дайын өнімнің беріктігіне теріс әсер етеді.

Құрылыстағы 3D басып шығарудың қолданыстағы технологиялық шешімдерінің әлемдік тәжірибесін талдау [18] құрылыста 3D басып шығару технологиясын жүзеге асыратын реактивті қоспалар тобын қарастыра отырып, ұсақ түйіршікті бетондарға негізделген өнімдердің тиімділігін арттыруды салыстыру бойынша:

№№	Қоспалар атаулары	Сығымдау беріктігі	Иілуі	Тығыздығы, кг/м ³
11	Микро кремний диоксиді 12%	55%	14%	-
22	Домна пешінің шламы 10-50%	12%	-	7%
33	Карбоксилатты полиэфирмен «Одолит-К» біріктірілген сульфат-сода қоспасы	70-96%	-	-
44	Melment F-10	-	35%	-

Осылайша, авторлар құрылыс 3D басып шығаруға арналған қоспалардың құрамын қалыптастыру кезінде көп функциялы көп компонентті қоспалар кешенінде қолдануды ұсынады. Флоккуляциялық қоспаны полиакриламидті қолданудың тағы бір оң нәтижесі жұмыста көрсетілген. Сонымен, портландцементке ПАА-ны 0,1% - ға дейін енгізу термос калориметриясы мен контракция әдістерімен зерттелген бастапқы қатаю кезеңінде гидратация процесінің қарқындылығына, цемент-талшықты композициялардың иілуіндегі беріктік шегінің жоғарылауына әкеледі.

Қорытынды

Осылайша, орындалған әдеби шолу қабатты экструзия 3D басып шығару әдісімен бетондарды қалыптау технологиясында аса маңызды болып табылатын реотехнологиялық қасиеттердің берілген кешені бар цементтерді, ерітінділерді және бетондарды алу кезінде БМҚ қолданудың жоғары тиімділігін көрсетеді.

Көптеген зерттеулер БМҚ-ның әртүрлі химиялық қоспалардың қатысуымен әртүрлі минералогиялық құрамдағы цементтерге негізделген композиттердің құрылымы мен қасиеттеріне әсер ету ерекшеліктерін анықтады.

Бірқатар авторлар минералды қоспаларды әртүрлі критерийлер бойынша жіктеуді ұсынады, бұл оларды қолдану және олардың тиімділігін талдау кезінде өте ыңғайлы.

Бұл ретте қазіргі уақытта БМҚ-ның әртүрлі түрлерінің қабат-қабат экструзия 3D-басып шығару әдісімен қалыптастырылатын бетондардың құрылымы мен қасиеттерін қалыптастыруға, сондай-ақ бетон қоспаларының оңтайлы реотехнологиялық

қасиеттеріне және қатайтылған композиттің физика-механикалық қасиеттеріне қол жеткізуге әсері мәселесі зерттелмеген күйінде қалып отыр, бұл осы салада одан әрі эксперименттік зерттеулер жүргізу қажеттілігін туғызады.

Құрылыс 3D басып шығару технологиясында химиялық қоспаларды қолдануға жүргізілген шолу оларды бетон қоспаларының құрамына енгізу бетондардың физикалық-механикалық сипаттамаларына яғни беріктігін, суға төзімділігін арттыру, суды сіңіруді азайту ғана емес, сонымен қатар қоспаның реотехнологиялық қасиеттеріне де әсер ететіндігін анықтады сондай-ақ қалыптылықты жақсарту, қажетті ұтқырлықты қамтамасыз ету. Айта кету керек, осы күнге дейін химиялық қоспалардың құрылыс 3D басып шығару технологиясындағы бетон қоспалары мен бетондардың көрсетілген қасиеттеріне әсері туралы мәселелер әлі де аз зерттелген.

Жоғарыда айтылғандарға байланысты жұмыстың мақсаты белсенді минералды және химиялық қоспалар кешенімен ұсақ түйіршікті бетон қоспаларының құрамын өзгерту арқылы құрылыста аддитивті өндірісті жетілдіруді қамтамасыз ететін ғылыми негізделген технологиялық шешімді әзірлеу болып табылады.

Алғыс айту, мүдделер қақтығысы

Бұл зерттеуді Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігінің Ғылым комитеті бағдарламалық-мақсаттық қаржыландыру шеңберінде қаржыландырады (грант № «BR21882278 Аккредиттелген мамандардың толық циклін қамтамасыз ету үшін құрылыс-техникалық инженерлік орталық құру» Қазақстан Республикасының құрылыс, жол құрылысы саласындағы қызметтері»)

Авторлардың қосқан үлесі:

Алдабергенова Г.Б., Джексембаева А. – жұмыстың тұжырымдамасы мен дизайнына, жұмыс нәтижелерін жинауға, талдауға және түсіндіруге, мәтін жазуға және оның мазмұнын сыни тұрғыдан қайта қарауға, жұмыстың барлық аспектілері үшін жауап беруге келісуге, мәліметтердің дұрыстығына немесе мақаланың барлық бөліктерінің тұтастығына қатысты мәселелерді дұрыс зерттеуге және шешуге айтарлықтай үлес қосты.

Конканов М., Кадыров А., Байдаулет Ж. – мәтінді жазу және оның мазмұнын сыни тұрғыдан қайта қарау, жариялау үшін мақаланың соңғы нұсқасын бекіту, жұмыстың барлық аспектілері үшін жауап беруге келісу, деректердің дұрыстығына немесе мақаланың барлық бөліктерінің тұтастығына қатысты мәселелерді дұрыс зерттеу және шешу.

Әдебиеттер тізімі

1. Kruger, P.J. Rheo-mechanics modelling of 3D concrete printing constructability / P.J. Kruger //Dokt, Diss. Stellenbosch University. - 2019. P. 293.

2. Зыонг Т.К. Высокопрочные легкие фибробетоны
3. Конструкционного назначения: дис. ... канд. техн. наук: 05.23.05/Зыонг Тхань Куй. – М., 2020. – 201 с.
4. ГОСТ Р 56592-2015 Добавки минеральные для бетонов и строительных растворов. Общие технические условия. - М.: Стандартинформ, 2015. - 11 с.
5. ГОСТ 24640-91 Добавки для цемента. Классификация. - М.: Стандартинформ, 2010. - 10 с.
6. ГОСТ 31108-2016 Цементы общестроительные. Технические условия. - М.: Стандартинформ, 2019. - 18 с.
7. Мухаметрахимов Р.Х. Роль активных минеральных добавок природного происхождения в формировании структуры и свойств гипсоцементно-пуццоланового вяжущего / Р.Х. Мухаметрахимов, А.Р. Галаутдинов // Вестник технологического университета. - 2017. № 6(20). - С. 60-63.
8. Белякова Е.А. Цемент на основе золы-уноса для современных строительных технологий / Е.А. Белякова, Р.Н. Москвин, О.В. Тараканов // Региональная архитектура и строительство. - 2017. - № 1(30). - С. 5-11.
9. Скрипникова Н.К. Мелкозернистый бетон с использованием отходов металлургии / Н.К. Скрипникова, В.В. Шеховцов, Д.К. Григорьевская, М.А. Семеновых, И.Ю. Юрьев // Вестник Томского государственного архитектурно-строительного университета. - 2019. - № 2(21). - С. 185-191.
10. Пат. 2729283 Российская Федерация. Двухфазная смесь на основе цемента для композитов в технологии строительной 3D-печати / Г.С. Славчева, О.В. Артамонова, Е.А. Бритвина, Д.С. Бабенко, А.И. Ибряева; патентообладатель Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Воронежский государственный технический университет». - № 2019133428, заявл. 21.10.2019; опубл. 05.08.2020, Бюл. №22 - С. 6.
11. Chen, M. Yield stress and thixotropy control of 3D-printed calcium sulfoaluminate cement composites with metakaolin related to structural build-up / M. Chen, L. Yang, Y. Zheng, Y. Huang, L. Li, P. Zhao, S. Wang, L. Lu, X. Cheng // Constr. Build. Mater. - 2020. - Vol. 252. 119090.
12. Mendoza Reales, O.A. Nanosilica particles as structural buildup agents for 3D printing with Portland cement pastes / O.A. Mendoza Reales, P. Duda, E.C.C.M. Silva, M.D.M. Paiva, R.D.T. Filho // Constr. Build. Mater. - 2019. Vol. 219. - P. 91- 100.
13. Chen, M. Rheological parameters, thixotropy and creep of 3D-printed calcium sulfoaluminate cement composites modified by bentonite / M. Chen, B. Liu, L. Li, L. Cao, Y. Huang, S. Wang, P. Zhao, L. Lu, X. Cheng // Compos. Part B Eng. - 2020. -Vol. 186. 107821.
14. Chen, M. Rheological parameters and building time of 3D printing sulphoaluminate cement paste modified by retarder and diatomite / M. Chen, L. Li, J. Wang, Y. Huang, S. Wang, P. Zhao, L. Lu, X. Cheng // Constr. Build. Mater. - 2020. - Vol. 234. 117391.
15. Han, R. A comparison of the degradation behaviour of 3D printed PDLGA scaffolds incorporating bioglass or biosilica / R. Han, F. Buchanan, L. Ford, M. Julius,
16. P.J. Walsh // Mater. Sci. Eng. C. - 2021. -Vol. 120. 111755.
17. Zareei, S.A. Recycled ceramic waste high strength concrete containing wollastonite particles and micro-silica: A comprehensive experimental study / S.A. Zareei, F. Ameri, P. Shoaie, N. Bahrami // Constr. Build. Mater. - 2019. - Vol. 201. - P. 11-32.
18. Королев Е.В. Способ обеспечения внутреннего ухода за гидратацией цемента в составах для 3D-печати / Е.В. Королев, Т.К. Зыонг, А.С. Иноземцев // Вестник МГСУ. - 2020. - № 6. - С. 834-846.

19. Chen, Y. Characterization of air-void systems in 3D printed cementitious materials using optical image scanning and X-ray computed tomography / Y. Chen, O. Çopuroğlu, C. Romero Rodriguez, F.F. d. Mendonca Filho, E. Schlangen // Mater. Charact. - 2021. - Vol. 173.

20. Новосадов Н.И., Полуэктова В.А. Прочностные характеристики полимерцементного композита для аддитивных технологий / В.А. Новосадов, Н.И., Полуэктова // Сборник материалов III международной научно-практической конференции. - 2017. - С. 133-137.

21. Полуэктова В.А. Закономерности поверхностных явлений и модифицирования полимерминеральных дисперсий для аддитивных технологий: дис. ... д-ра техн. наук: 1.4.10 / Полуэктова Валентина Анатольевна. – Белгород, 2022. - 517 с.

22. Сорокина Е.А. Исследование влияния добавки Agocel S-2000 на свойства бетонной смеси для 3D-печати / Н.О. Сорокина, Е.А., Копаница // Сборник «Молодежь, наука, технологии: новые идеи и перспективы (МНТ-2017). Избранные доклады IV международной научной конференции студентов и молодых ученых». - 2017. - С. 106-109.

23. Вовк А.И. Upgrade добавок: чем может помочь химия / А.И. Вовк // Технологии бетонов. - 2014. - № 8. - С. 8-11.

24. Калашников В.И. Терминология науки о бетоне нового поколения бетонов / В.И. Калашников // Строительные материалы. - 2011. - № 3. - С. 103– 106.

**Алдабергенова Газиза*¹, Джексембаева Асель², Конканов Марат², Кадыров Абзал²,
Байдаулет Жулдызай²**

¹Международная образовательная корпорация, Алматы, Казахстан

²Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

Применение модифицирующих добавок на отходах в технологии строительной 3D печати

Аннотация. Внедрение инновационных технологий 3D-печати в строительной отрасли позволит повысить эффективность и экологичность материалов. Наряду с развитием этой технологии возникла необходимость создания модификационных смесей с использованием отходов. В этом исследовании рассматривается использование модификационных смесей на остаточной основе в технологии строительной 3D-печати.

Основные физико-механические свойства и прочность мелкозернистых бетонов, сформированных методом слоистой экструзии, свидетельствуют о высокой эффективности применения модифицирующей смеси при получении цементов, растворов и бетонов с заданным комплексом сырьевых добавок, условий взаимодействия и реотехнологических свойств.

В ходе исследования изучаются свойства отходов и анализируется возможность их применения в составе строительных смесей, используемых для 3D-печати. Были проведены различные эксперименты с целью определения эффективности отходов и их влияния на физико-механические свойства строительных материалов.

В результате было обнаружено, что модифицирующие добавки на остаточной основе способствуют повышению прочности, устойчивости и экологической дружелюбности строительных материалов в технологии строительной 3D-печати. Эти подходы направлены на предоставление новых возможностей и решений в строительной отрасли с учетом экологической эффективности и экономических выгод.

Ключевые слова: 3D-печать, портландцемент, мелкий наполнитель, активная минеральная добавка, модифицирующая добавка, химическая добавка, усадочная деформация, реотехнологические свойства.

**Aldabergenova Gaziza*¹, Jexembayeva Asel², Konkanov Marat², Kadyrov Abzal²,
Bidaulet Zhuldyzay²**

¹*International Educational Corporation, Almaty, Kazakhstan*

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

The use of waste-based modifying additives in construction 3D printing technology

Abstract. The introduction of innovative 3D printing technologies in the construction industry makes it possible to increase the efficiency and environmental sustainability of materials. In parallel with the development of this technology, there was a need to create modification mixtures using waste materials. This study examines the use of waste-based modification additives in construction 3D printing technology.

The main physico-mechanical properties and strength of fine-grained concretes formed by the method of layered extrusion show the high efficiency of using a modification mixture in the production of cements, mortars and concretes with a given complex of rheotechnological properties, depending on the composition of raw materials mixtures, interaction conditions and conditions.

In the course of the study, the properties of waste materials are studied and the possibility of their use in the composition of building mixtures used for 3D printing is analyzed. Various experiments were carried out in order to determine the efficiency of waste materials and their effect on the physical and mechanical properties of building materials.

As a result, it was found that waste-based modification additives contribute to increasing the strength, stability and environmental friendliness of building materials in construction 3D printing technology. It aims to provide new opportunities and solutions in the construction sector, considering the environmental benefits and economic benefits of these approaches.

Keywords: 3D printing, portland cement, fine filler, active mineral additive, modification additive, chemical additive, shrinkage deformation, rheotechnological properties.

References

1. Kruger, P.J. Rheo-mechanics modelling of 3D concrete printing constructability / P.J. Kruger//Dokt, Diss. Stellenbosch University. - 2019. P. 293.
2. Zyong, T.K. High-strength lightweight fiber-reinforced concrete for structural purposes: dis. ... Cand. of Engineering Sciences: 05.23.05 / Zyong Thanh Quy. - M., 2020. - 201 p.
3. GOST R 56592-2015 Mineral additives for concrete and mortars. General specifications. - M.: Standartinform, 2015. - 11 p.
4. GOST 24640-91 Additives for cements. Classification. - M.: Standartinform, 2010. - 10 p.
5. GOST 31108-2016 General construction cements. Specifications. - M.: Standartinform, 2019. - 18 p.
6. Mukhametrahimov, R.Kh. The role of active mineral additives of natural origin in the formation of the structure and properties of gypsum-cement-pozzolanic binder / R.Kh. Mukhametrahimov, A.R. Galautdinov // Bulletin of the Technological University. - 2017. No. 6 (20). - P. 60-63.

7. Belyakova, E.A. Fly ash-based cement for modern construction technologies / E.A. Belyakova, R.N. Moskvina, O.V. Tarakanov // Regional architecture and construction. - 2017. - No. 1 (30). - P. 5-11.
8. Skripnikova, N.K. Fine-grained concrete using metallurgy waste / N.K. Skripnikova, V.V. Shekhovtsov, D.K. Grigorevskaya, M.A. Semenovych, I.Yu. Yuryev // Bulletin of Tomsk State University of Architecture and Civil Engineering. - 2019. - No. 2 (21). - P. 185-191.
9. Patent. 2729283 Russian Federation. Two-phase cement-based mixture for composites in construction 3D printing technology / G.S. Slavcheva, O.V. Artamonova, E.A. Britvina, D.S. Babenko, A.I. Ibrayeva; patent holder Federal State Budgetary Educational Institution of Higher Education "Voronezh State Technical University" – No. 2019133428, declared. 21.10.2019; published. 05.08.2020, Bulletin No. 22 - p. 6.10. Chen, M. Yield stress and thixotropy control of 3D-printed calcium sulfoaluminate cement composites with metakaolin related to structural build-up / M. Chen, L. Yang, Y. Zheng, Y. Huang, L. Li, P. Zhao, S. Wang, L. Lu, X. Cheng // Constr. Build. Mater. - 2020. - Vol. 252. 119090.
10. Mendoza Reales, O.A. Nanosilica particles as structural buildup agents for 3D printing with Portland cement pastes / O.A. Mendoza Reales, P. Duda, E.C.C.M. Silva, M.D.M. Paiva, R.D.T. Filho // Constr. Build. Mater. - 2019. Vol. 219. - P. 91- 100.
11. Chen, M. Rheological parameters, thixotropy and creep of 3D-printed calcium sulfoaluminate cement composites modified by bentonite / M. Chen, B. Liu, L. Li, L. Cao, Y. Huang, S. Wang, P. Zhao, L. Lu, X. Cheng // Compos. Part B Eng. - 2020. -Vol. 186. 107821.
12. Chen, M. Rheological parameters and building time of 3D printing sulphoaluminate cement paste modified by retarder and diatomite / M. Chen, L. Li, J. Wang, Y. Huang, S. Wang, P. Zhao, L. Lu, X. Cheng // Constr. Build. Mater. - 2020. - Vol. 234. 117391.
13. Han, R. A comparison of the degradation behaviour of 3D printed PDLGA scaffolds incorporating bioglass or biosilica / R. Han, F. Buchanan, L. Ford, M. Julius,
14. P.J. Walsh // Mater. Sci. Eng. C. - 2021. -Vol. 120. 111755.
15. Zareei, S.A. Recycled ceramic waste high strength concrete containing wollastonite particles and micro-silica: A comprehensive experimental study / S.A. Zareei, F. Ameri, P. Shoaiei, N. Bahrami // Constr. Build. Mater. - 2019. - Vol. 201. - P. 11-32.
16. Korolev, E.V. Method for ensuring internal care of cement hydration in compositions for 3D printing / E.V. Korolev, T.K. Zyong, A.S. Inozemtsev // Bulletin of MGSU. - 2020. - No. 6. - P. 834-846.
17. Chen, Y. Characterization of air-void systems in 3D printed cementitious materials using optical image scanning and X-ray computed tomography / Y. Chen, O. Çopuroğlu, C. Romero Rodriguez, F.F. d. Mendonca Filho, E. Schlangen // Mater. Charact. - 2021. - Vol. 173.
18. Novosadov, N.I., Poluektova, V.A. Strength characteristics of polymer-cement composite for additive technologies / V.A. Novosadov, N.I., Poluektova // Collection of materials of the III International scientific and practical conference. - 2017. - P. 133-137.
19. Poluektova, V.A. Patterns of surface phenomena and modification of polymer-mineral dispersions for additive technologies: dis. ... Doctor of Engineering Sciences: 1.4.10 / Poluektova Valentina Anatolyevna. - Belgorod, 2022. - 517 p.
20. Sorokina, E.A. Study of the influence of Agocel S-2000 additive on the properties of concrete mixture for 3D printing / N.O. Sorokina, E.A., Kopanitsa // Collection "Youth, Science, Technology: New Ideas and Prospects (MNT-2017) Selected Reports of the IV International Scientific Conference of Students and Young Scientists". - 2017. - P. 106-109.
21. Vovk, A.I. Upgrade of additives: how chemistry can help / A.I. Vovk // Concrete technologies. - 2014. - No. 8. - P. 8-11.

22. Kalashnikov, V.I. Terminology of concrete science of a new generation of concrete / V.I. Kalashnikov // Construction materials. - 2011. - No. 3. - P. 103–106.

Авторлар туралы мәлімет:

Джексембаева А.Е. – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің PhD, Қажымұқан көш., 13, к. 205

Қонқанов М.Д. – Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің PhD, Қажымұқан көш., 13, к. 205

Алдабергенова Г.Б. – т.ғ.м., ассистент профессор, ЖҚФ декан орынбасары, (Қазақ бас сәулет-құрылыс академиясы), Алматы қ, +77475560940, gaziza_ab@mail.ru.

Қадыров А.Б. – техника ғылымдарының магистрі, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Өндірістік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасының докторанты, Қажымұқан көшесі, 13, к. 205

Байдаулет Ж.С. – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Өндірістік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасының техника ғылымдарының магистрі, Қажымұқан көшесі, 13, к. 205

Джексембаева А.Е. – PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Кажимукана, 13, к.205

Конканов М.Д. – PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.Кажимукана, 13, к.205

Алдабергенова Г.Б. – м.т.н., ассистент профессор, заместитель декана факультета общего строительства, МОК(КазГАСА), г. Алматы, +77475560940, gaziza_ab@mail.ru.

Кадыров А.Б. – магистр технических наук, докторант кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства» Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажимукана, 13, к.205

Байдаулет Ж.С. – магистр технических наук кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства» ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, ул.Кажимукана, 13, к.205

Jexembayeva Asel – PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan str. 13, k.205

Konkanov M.D. – PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan str. 13, k.205

Aldabergenova G.B. – Master of Technical Sciences, Assistant Professor, Deputy Dean of the Faculty of General Construction, IEC (KazGASA), Almaty, +77475560940, gaziza_ab@mail.ru.

Kadyrov A.B. – Master of Engineering Sciences, PhD student, Department of Industrial and Civil Construction Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan St. 13, k205

Baydaulet Zh.S. – Master of Engineering Sciences, Department of Industrial and Civil Construction Technology, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhimukan St. 13, k205



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



XҒТАР 23.35.33

Ғылыми мақала

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-114-124>

СЫЗЫҚТЫҚ ЖӘНЕ СЫЗЫҚТЫҚ ЕМЕС ҚАСИЕТТЕРДІ ЕСКЕРЕ ОТЫРЫП БҰРҒЫЛАУ БАҒАННЫҢ ТЕРБЕЛІСТЕРІН МОДЕЛЬДЕУ

Э.Н. Тулегенова*¹, А.Б. Адранова¹, Ә. Ғалымжанқызы¹, Ә. Әлиасқар¹

Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан

(E-mail: etulegenova80@mail.ru)

Аңдатпа. Жұмыстың мақсаты – сыртқы жүктемелер мен қоршаған орта факторларының әсерінен қиындаған бұрғылау бағаналары динамикасының сызықтық және сызықты емес математикалық модельдерін және олардың комбинацияларын жасау және талдау. Зерттеу объектісі-қоршаған ортамен өзара әрекеттесу кезінде мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылау үшін қолданылатын жүктелген бұрғылау бағанасының тербелісі. Бұрғылау бағанының тербелістерінің математикалық модельдерінің практикалық маңыздылығы мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылау кезінде тікелей пайда болатын тербелмелі құбылыстардың толық сипаттамасында және бұрғылау бағанасының геометриялық және механикалық параметрлерінің әсерін, қисықтықтың алдын алу үшін оның тербелістеріне сыртқы жүктемелерді талдауда жатыр.

Түйін сөздер: бұрғылау бағанасы, динамика, математикалық модельдеу.

Түсті 19.03.2024. Жөнделді 08.09.2024. Мақұлданды 09.09.2024. Онлайн қолжетімді 30.09.2024

¹*хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Мұнай мен газ қоғамның өмірлік қажеттіліктерін қамтамасыз етуде маңызды рөл атқарады. 2019 жылдан бастап энергияны тұтыну статистикасы бойынша мұнай-газ өнеркәсібі тиісті көздер екенін білдіреді [1]. Сондықтан мұнай-газ саласын дамыту терең зерттелінуі тиіс. Бұрғылау бағандарының ауытқу сипатын алдын-ала зерттей отырып, бұрғылау қауіпсіздігі едәуір арттырылады және оларды жоюға көп ақша мен уақытты қажет ететін жазатайым оқиғалардың алды алынады.

Тәжірибелі сарапшылар бұрғылау бағанының тербелістерінің үш негізгі түрін анықтаған: доңғалақ, бұралу және көлденең. Бұрғылаудың негізгі міндеті - ұңғыманың жобалық тереңдігіне қысқа мерзімде және ең аз шығындармен жету [3-5]. Осы тік тербеліс тербелмелі қозғалыс бағыты ұңғыманың айналуымен сәйкес келеді. Бұл қашаудың жабдықтарының бұзылуына және уақтылы тозуына, тығыздағыштардың бұзылуына, қысымның төмендеуіне және тіректердің зақымдалуына және нәтижесінде бұрғылау жылдамдығының төмендеуіне әкеледі [6-9]. Штанганың тербелісі 1-10 Гц жиілікте болады және ең енетін жіппен сәндіріледі [10]. Көлденең тербеліс маятниктің көлденең қозғалысы болады. Бұрғылау бағанасы мен қашаудың көлденең қозғалысы нәтижесінде иілу және бұралу пайда болады [11]. Бұрылыстар айналу барысында дәйекті өзгеріс болған кезде алға, кері және хаотикалық бағытта жүреді [12].

Мұнай және газ ұңғымаларын бұрғылау үшін қолданылатын бұрғылау бағандарының тербеліс процесін зерттеу үшін әртүрлі авторлар сызықтық және сызықтық емес математикалық модельдер әзірлеуде. Ұзартулар мен күш мәндеріне ешқандай шектеулер қойылмаған бұрғылау бағандарының тербелістерін сипаттайтын математикалық модельдер іс жүзінде қарастырылмайды. Мұның себебі-болат конструкциялар үшін пропорционалдылық шегіне жақын, осыған байланысты берілген материал үшін физикалық сызықтық емес проблемалар серпімділік теориясына қарағанда икемділік теориясын зерттеу тақырыбы болып табылады [13]. Сонымен, [14] жазық иілу жағдайында сызықтық емес теорияны қолдану сызықтық тербелістерді қолданғаннан гөрі аз амплитудалық штанганың тербелісіне әкелетіні анықталды.

Әдіснама

Оқыс жағдайлар алдын-алу мақсатында 1-бөлігі сызықтық, 2-бөлігі сызықтық емес қасиетті тербелістерді зерттейміз.

$$\rho A \frac{\partial^2 u}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 u}{\partial x^4} + N(x, t) \frac{\partial^2 u}{\partial x^2} - \frac{EA}{1-\nu} \frac{\partial}{\partial x} \left(\frac{\partial u}{\partial x} \right)^3 - \rho A \Omega^2 u = 0 \quad (1)$$

$$\rho A \frac{\partial^2 u_2}{\partial t^2} + EI \frac{\partial^4 u_2}{\partial x^4} + N(x, t) \frac{\partial^2 u_2}{\partial x^2} - \rho A \Omega^2 u_2 = 0 \quad (2)$$

(1) теңдеу бұл жоғарғы бөлікті сызықтық емес қасиеттермен және (2) екінші бөлікті сызықтық қасиеттермен сипаттайды. Мәндер: ρ материалдың тығыздығы, A штанганың

көлденең қимасының ауданы, E Юнг модулі, I инерция моменті, $N(x,t)$ қысу жүктемесі, Ω бұрыштық айналу жылдамдығы [15].

Бұрғылау бағанасын жоғарғы ұшына бекіту әдісін және төменгі ұшындағы тау жыныстарын бұзуды ескере отырып, тек сымның айналуы мүмкін және көлденең бағытта қозғалу шектеулі болған кезде, шекаралық шарттар келесідей ұсынылуы мүмкін (бұл штанганың ұштарының топсалы бекітілуіне сәйкес келеді):

$$\begin{aligned} u_1(x, t) &= 0 & (x = 0) \\ E_1 I_1 \frac{\partial^2 u_1(x, t)}{\partial x^2} &= 0 & (x = 0) \\ u_2(x, t) &= 0 & (x = L) \\ E_2 I_2 \frac{\partial^2 u_2(x, t)}{\partial x^2} &= 0 & (x = L) \end{aligned} \tag{3}$$

және бастапқы шарттар келесідей беріледі:

$$\begin{aligned} u_1(x, t) &= 0 & (t = 0) \\ \frac{\partial u_1(x, t)}{\partial t} &= C_1 & (t = 0) \end{aligned} \tag{4}$$

мұндағы $C_1=0.01$.

Сызықтық емес және сызықтық бөліктің компоненттерін қосу үшін тағы бір шарт қажет:

$$\begin{aligned} \frac{\partial u_1}{\partial x} &= \frac{\partial u_2}{\partial x} & (x = \frac{L}{2}) \\ u_1 &= u_2 & (x = \frac{L}{2}) \end{aligned} \tag{5}$$

Нәтижелер мен талқылау

Осыған байланысты (1) және (2) теңдеулер жүйесін шешу үшін Бубнов-Галеркин әдісі қолданылады, оған сәйкес қажетті шешімдер негізгі функциялар бойынша соңғы қатарларға ыдырау түрінде ұсынылады:

$$u_1(x, t) = \sin\left(\frac{\pi x}{l_1}\right) f_1(t) \tag{6}$$

$$u_2(x, t) = \sin\left(\frac{\pi x}{l_2}\right) g_1(t) \tag{7}$$

мұндағы $l_1 = \frac{2L}{3}$ және $l_2 = \frac{L}{3}$.

Жоғарғы бөлігі сызықты емес, сондықтан (1) теңдеуі 0-ден l_1 -ге дейін біріктіріледі, сонымен қатар (2) l_1 -ден L -ге дейінгі сызықтық бөлік болып табылады және $\sin\left(\frac{\pi x}{l}\right)$ көбейту арқылы:

$$\int_0^{l_1} \left[\rho A \sin \frac{\pi x}{l_1} f'''(t) + \frac{EI\pi^4}{l_1^4} \sin \frac{\pi x}{l_1} f(t) - \frac{N(x,t)\pi^2}{l_1^2} \sin \frac{\pi x}{l_1} f(t) - \rho A \Omega^2 \sin \frac{\pi x}{l_1} f(t) + \frac{3EA\pi^4}{(1-\nu)l_1^4} \cos^2 \frac{\pi x}{l_1} \sin \frac{\pi x}{l_1} f^3(t) \right] dx = 0 \quad (8)$$

$$\int_{l_1}^L \left[\rho A \sin \frac{\pi x}{l_2} g'''(t) + \frac{EI\pi^4}{l_2^4} \sin \frac{\pi x}{l_2} g(t) - \frac{N(x,t)\pi^2}{l_2^2} \sin \frac{\pi x}{l_2} g(t) - \rho A \Omega^2 \sin \frac{\pi x}{l_2} g(t) \right] dx = 0 \quad (9)$$

Нәтижесінде соңғы теңдеу шығады:

$$\frac{\rho AL}{3} f''(t) + \frac{27EI\pi^4}{16L^3} f(t) - \frac{3N(x,t)\pi^2}{4L} f(t) - \frac{2\rho A \Omega^2 L}{6} f(t) + \frac{81EA\pi^4}{64L^3(1-\nu)} f^3(t) = 0 \quad (10)$$

$$\frac{\rho AL}{3} f''(t) + \frac{27EI\pi^4}{16L^3} f(t) - \frac{3N(x,t)\pi^2}{4L} f(t) - \frac{2\rho A \Omega^2 L}{6} f(t) + \frac{81EA\pi^4}{64L^3(1-\nu)} f^3(t) = 0 \quad (11)$$

Түрлендірілген теңдеудің бастапқы шарттары:

$$\begin{aligned} f_1(0) = 0, \quad \frac{df_1}{dt}(0) = \frac{4C_1}{\pi} \\ g_1(0) = 0, \quad \frac{dg_1}{dt}(0) = \frac{4C_1}{\pi} \end{aligned} \quad (12)$$

Екінші ретті теңдеуді бірінші реттік теңдеуге $f''(t)=u_1$ және $g''(t)=u_2$ ауыстырып, Эйлер әдісіне көшіру арқылы:

$$u_1' = \frac{3 \left(-\frac{27EI_1\pi^4}{16L^3} + \frac{3N(x,t)\pi^2}{4L} + \frac{2\rho A_1\Omega^2 L}{6} \right) f(t) - \frac{81EA_1\pi^4}{64L^3(1-\nu)} f^3(t)}{\rho A_1 L}$$

$$u_2' = \frac{6 \left(-\frac{81EI_2\pi^4}{6L^3} + \frac{3N(x,t)\pi^2}{2L} + \frac{\rho A_2\Omega^2 L}{6} \right) g(t)}{\rho A_2 L} \quad (13)$$

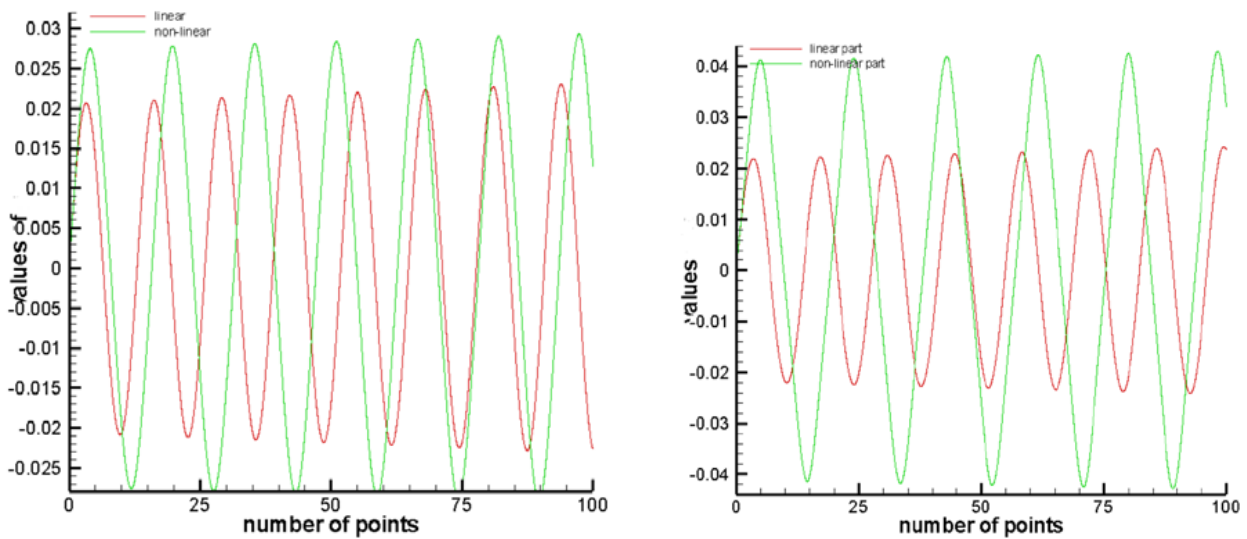
$$y1_i = y1_{i-1} + u1_{i-1} * h$$

$$y2_i = y2_{i-1} + u2_{i-1} * h$$

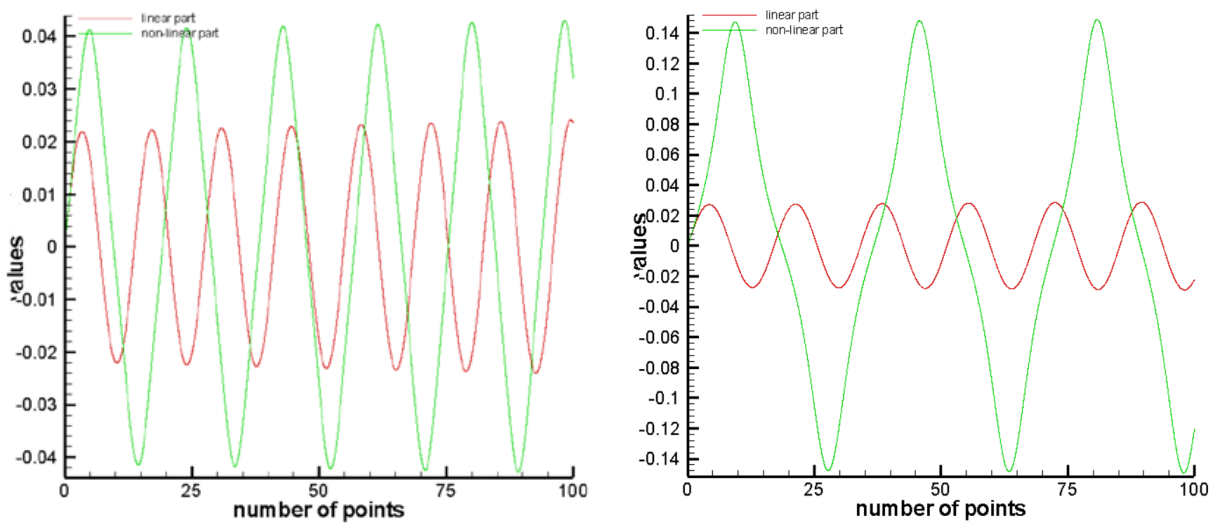
мұндағы i 1-ден n -ге дейін, $h = (b-a)/n$, $n=10000 [0,100]$.

1-кесте. Бұрғылау жүйесінің екі компонентті моделінің параметрлері

Параметрлер	Мәні
Бұрғылау бағанының тығыздығы, ρ	7800 кг/м ³
Диаметр, d_1, d_2, d_3	0.16 м, 0.2 м, 0.12 м
Бағанның көлденең қимасының ауданы, A	$\frac{\pi d_1^2}{4}, \frac{\pi d_2^2}{4}$
Юнг модулі, E	$2.1 \cdot 10^{11}$ Па
Сақина қимасының инерция моменті	$\frac{\pi}{64} (d_1^4 - d_3^4)$ кг/м ² $\frac{\pi}{64} (d_2^4 - d_3^4)$ кг/м ²
Бойлық жүктеме, N	$2.2 \cdot 10^3$ Н
Пуассон коэффициенті, ν	0.28
Бұрғылау бағанының ұзындығы, l	100 м

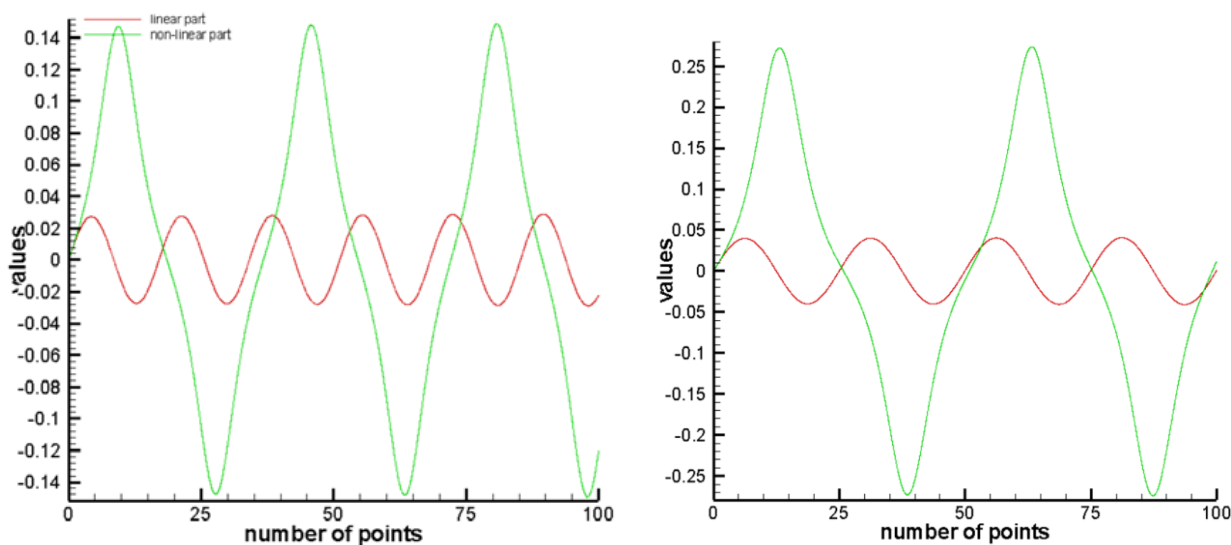


1-сурет. N=100 Н және N=10000 Н



2-сурет. l=100 м және l=200 м

100-ден 200 метрге дейінгі ұзындықты өзгерту тұжырымдамасы бар екенін көруге болады. Біріншіден, жоғарғы бөліктің амплитудасы 0,14-ке дейін төмендеді, ал төменгі бөлігі, керісінше, 0,03-ке дейін өсті. Барлығының жиілігі азаяды. Жоғарғы сызықты емес бөлік әлі де қисық. Сонымен қатар, біз оларды жол бөліктерінің диаметрлерін $d_1 = 0,16$ м-ден $d_2 = 0,26$ м-ге, содан кейін $d_2 = 0,2$ м-ден $0,3$ м-ге $l=200$ м-ге өзгерту арқылы салыстыра аламыз.



3-сурет. $d_1 = 0.16$ м, $d_2 = 0.2$ м және $d_1 = 0.26$ м, $d_2 = 0.3$ м

Үлкен диаметрді бағалау кезінде тербелістердің кішіге қатысты сәйкестігі туралы хабарланғанын көруге болады. Екі жағдайда да осы стек параметрлерінің әсері үлкен өзгерістерге әкелмейтіні анық, әр түрлі фокустардағы амплитудалардың ығысулары мен айрықша күйлерін атап өтуге болады.

Қорытынды

Тұрақты сыртқы қабаттасудың әсерінен тікелей жүктемені ескере отырып, сызықтық модельдеуді салыстыру амплитудасы қарастырылған барлық баған ұзындықтары үшін аз екенін көрсетті, бірақ бағанның диаметрі азайған кезде, керісінше, ол өсе бастады. Сызықтық емес термин ұғымы, тұрақты сыртқы қабаттасудың әсерінен жүктемені ескере отырып, әсер ету амплитудасы барлық қарастырылған баған ұзындықтары үшін аз болды, бірақ бағандардың ені азайған кезде қарама-қарсы жақтағы амплитудасы көбейе бастады. Сонымен қатар, екі учаскесі бар бұрғылау бағанасы сегменттер санының артуымен бұралу пішіні өзгертетінін көрсетті, яғни бір және екі учаскеде толқын тәрізді пішіндер, сондай-ақ бұралудың салыстырмалы консистенциясы пайда болады. Осы стратегия арқылы мәселені шешуге байланысты бұл мінез-құлық дифференциалдық теңдеудің мызғымас сипатына байланысты болуы мүмкін. Демек, болашақта неғұрлым жалпы түсінік алу үшін көптеген аймақтары бар бағанның тербелістерін сипаттайтын сызықтық емес теңдеу үшін түсінікті қастандықты қолдануға болады.

Алынған нәтижелерді нақты пайдалану бойынша ұсыныстар. Осы жұмыста әзірленген бұрғылау бағанының тербелістерінің сызықтық емес динамикалық модельдері және алынған сандық модельдеу нәтижелері мұнай-газ саласындағы бұрғылау қондырғысы жұмысының оңтайлы параметрлерін анықтау бойынша ағымдағы міндеттерді шешу үшін, сондай-ақ қолда бар инженерлік деректер мен есептеулерді нақтылау үшін және

ұңғымаларды таяз бұрғылау процесінде ықтимал апаттардың алдын алу үшін тікелей пайдаланылуы мүмкін.

Авторлардың қосқан үлесі:

Э.Н. Тулегенова мен **А.Б. Адранова** бұрғылау процесі динамикасының және олардың комбинацияларының сыртқы жүктемелер мен қоршаған орта факторларының әсерінен күрделенген сызықтық және сызықты емес математикалық модельдерін жасады.

А. Ғалымжанқызы мен **А. Әлиасқар** бұрғылау тізбектерінің тербелістерінің сызықты емес динамикалық үлгілерін жасап шығарды, ал алынған сандық модельдеу нәтижелері мұнай және газ кен орындарындағы бұрғылау қондырғыларының оңтайлы жұмыс параметрлерін анықтаудың өзекті мәселелерін шешуге, сондай-ақ қолда бар техникалық құралдар. Таяз ұңғымаларды бұрғылау кезінде ықтимал апаттардың алдын алу үшін деректер мен есептеулерді тікелей қолдануға болады.

Әдебиеттер тізімі

1. Jackson et al. Persistent fossil fuel growth threatens the Paris Agreement and planetary health – Environmental Research Letters. – 2019. – №14. – 4 p URL: https://www.researchgate.net/publication/337743182_Persistent_fossil_fuel_growth_threatens_the_Paris_Agreement_and_planetary_health (дата обращения: 25.02.2024)

2. Саркисов Г.М. Расчеты бурильных и обсадных колонн. М.:Недра, 1971. – 208 с.

3. Быков И.Ю., Заикин С.Ф., Перминов Б.А. Совершенствование аппаратной системы регулирования режима работы бурильной колонны на основе измерения динамических параметров крутящего момента // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М., 2016. - №5. – С.4–8. DOI: <https://doi.org/10.18334/9785907063440>

3. Быков И.Ю., Заикин С.Ф., Перминов Б.А. Совершенствование аппаратной системы регулирования режима работы бурильной колонны на основе измерения динамических параметров крутящего момента // Строительство нефтяных и газовых скважин на суше и на море. – М., 2016. - №5. – С.4–8. DOI: <https://doi.org/10.18334/9785907063440>

7. Ямалиев В. Ю., Салахов Т.Р., Имаева Э.Ш. Устройство для оценки состояния пороразрушающего инструмента: пат. 2335629 Рос. Федерация МПК6 E21B44/00. № 2006145009/03; заявл. 18.12.2006; Опубл. 10.10.2008, Бюл. №28.

8. Osnes S.M., Amundsen P.A., Weltzin T., Nyrnes E., Hundstad B.L. & Grindhaug G. MWD Vibration Measurements: A Time for Standarisation. SPE/IADC 119877 presented at SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition held in Amsterdam, The Netherlands, 17-19 March 2009.

9. Aadnoy B.S., Cooper I., Miska S.Z., Mitchell R.F. & Payne M.L. Advanced Drilling and Well Technology. United States of America: Society of Petroleum Engineers; 2009 URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-advanceddrillingandwelltechnology.pdf>

10. Leine R.I., Van Campen, D.H. and Keultjes, W.J. Stick-slip Whirl Interaction in Drillstring Dynamics, Journal of Sound and Acoustics vol. 124, pp. 209-220,2002 URL: <http://dx.doi.org/10.1115/1.1452745>

11. Новожилов В.В. Основы нелинейной теории упругости. –М. – Л.: ОГИЗ, 2003. – 211 с URL: <http://ir.nmu.org.ua/handle/GenofondUA/43806>

12. Khajiyeva L.A., Kudaibergenov A.K. Modeling of nonlinear dynamics of drill strings in a supersonic air flow // Proc. 5th Int. Symposium on Knowledge Acquisition and Modeling (KAM 2015). – London, 2015. Advances in Intelligent Systems Research. – Vol. 80. – P. 163-167 URL: https://www.researchgate.net/publication/299967005_Modeling_of_Nonlinear_Dynamics_of_Drill_Strings_in_a_Supersonic_Air_Flow

13. Самарский А.А., Михайлов А. П. Математическое моделирование: Идеи. Методы. Примеры. – 2-изд. - М.: Физматлит, 2005. - 320 с URL: <http://samarskii.ru/books/book2001.pdf>

Э.Н. Тулегенова*, А.Б. Адранова, Ә. Ғалымжанқызы, Ә. Әлиасқар

Қызылординский университет имени Коркыт Ата, г. Қызылорда, Қазақстан

Моделирование колебаний буровой колонны с учетом линейных и нелинейных свойств

Аннотация. Целью работы является разработка и анализ линейных и нелинейных математических моделей динамики буровых колонн и их комбинаций, осложненных внешними нагрузками и факторами окружающей среды. Объектом исследования является вибрация нагруженной буровой колонны, которая используется для бурения нефтяных и газовых скважин при взаимодействии с окружающей средой. Практическая значимость математических моделей колебаний буровой колонны заключается в полном описании колебательных явлений, непосредственно возникающих при бурении нефтяных и газовых скважин и анализе влияния геометрических и механических параметров буровой колонны, внешних нагрузок на ее колебания с целью предотвращения кривизны.

Ключевые слова: буровая колонка, динамика, математическое моделирование.

E.N.Tulegenova*, A.B.Adranova, A.Galymzhankyzy, A.Aliaskar

Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan

Modeling of oscillations of a drilling column taking into account linear and nonlinear properties

Abstract. The purpose of the work is to develop and analyze linear and nonlinear mathematical models of the dynamics of drilling columns and their combinations, complicated by external loads and environmental factors. The object of study is the oscillation of a loaded drilling column, which is used for drilling oil and gas wells when interacting with the environment. The practical significance of mathematical models of oscillations of the drill column lies in the detailed description of oscillatory phenomena that occur directly during the drilling of oil and gas wells, and in the analysis of the influence of geometric and mechanical parameters of the drill column, external loads on its oscillations to prevent curvature.

Key words: drilling column, dynamics, mathematical modeling

References

1. Jackson et al. Persistent fossil fuel growth threatens the Paris Agreement and planetary health – Environmental Research Letters. – 2019. – №14. –4pURL: https://www.researchgate.net/publication/337743182_Persistent_fossil_fuel_growth_threatens_the_Paris_Agreement_and_planetary_health (date of access: 02/25/2024) - electronic resource
2. Sarkisov G.M. Calculations of drilling and casing columns. M.:Nedra, 1971. – 208 s - kitap
3. Bykov I.Yu., Zaikin S.F., Perminov B.A. Improvement of the hardware control system for the operation of the drill string based on the measurement of dynamic torque parameters // Construction of oil and gas wells on land and at sea. – M.:2016. - No.5. – pp.4-8, DOI: <https://doi.org/10.18334/9785907063440> - magazine
4. Ishemguzhin I.E., Yamaliev V.U., Ishemguzhin E.I. Diagnostics of oil and gas production facilities with random fluctuations in drilling technological parameters // Oil and gas business – 2011. - Vol. 9. – No. 3. – pp. 17-20 – URL: http://ngdelo.ru/files/old_ngdelo/2011/3/ngdelo-3-2011-p17-20.pdf - electronic resource
5. V.Y.Yamaliev, M.M.Khasanov, R.N.Yakupov, I.E.Ishemguzhin, I. R. Kuzeev, D.S.Solodovnikov. A method for determining the operability of a rock-breaking tool / Ros. Federation MPK7 E21B44/06, E21B44/06. No. 2001113974/03; application 05/25/2001; Publ. 09/10/2002, Bul. No.10. URL: <https://patents.google.com/patent/RU2183266C1/ru> - electronic resource
6. I.E.Ishemguzhin, V.Y.Yamaliev, V.V.Pashinsky, I.E. Ishemguzhin, M.N.Kozlov, S.V.Nazarov, E.M.Galeev, A.V.Lyagov. A method for regulating the optimal axial load on the bit during well drilling / pat. 2124125 Ros. MPK6 Federation E21B045/00, E21B044. No. 97103910/03; application 12.03.1997; publ. 12.12.1998, Issue No.5. URL: <https://doi.org/10.17122/ngdelo-2017-4-17-23> - electronic resource
7. V.Y. Yamaliyev, T.R.Salakhov, E.S.Imaeva. Device for assessing the condition of a pororazrushy tool: pat. 2335629 Ros. Federation MPK6 E21B44/00. No. 2006145009/03; declared on 12/18/2006; Publ. 10.10.2008, Issue No.28
8. Osnes S.M., Amundsen P.A., Weltzin T., Nyrnes E., Hundstad B.L. & Grindhaug G. MWD Vibration Measurements: A Time for Standarisation. SPE/IADC 119877 presented at SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition held in Amsterdam, The Netherlands, 17-19 March 2009.
9. Aadnoy B.S., Cooper I., Miska S.Z., Mitchell R.F. & Payne M.L. Advanced Drilling and Well Technology. United States of America: Society of Petroleum Engineers; 2009 URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-advanceddrillingandwelltechnology.pdf> - kitap.
7. V.Y. Yamaliyev, T.R.Salakhov, E.S.Imaeva. Device for assessing the condition of a pororazrushy tool: pat. 2335629 Ros. Federation MPK6 E21B44/00. No. 2006145009/03; declared on 12/18/2006; Publ. 10.10.2008, Issue No.28
8. Osnes S.M., Amundsen P.A., Weltzin T., Nyrnes E., Hundstad B.L. & Grindhaug G. MWD Vibration Measurements: A Time for Standarisation. SPE/IADC 119877 presented at SPE/IADC Drilling Conference and Exhibition held in Amsterdam, The Netherlands, 17-19 March 2009.
9. Aadnoy B.S., Cooper I., Miska S.Z., Mitchell R.F. & Payne M.L. Advanced Drilling and Well Technology. United States of America: Society of Petroleum Engineers; 2009 URL: <https://www.geokniga.org/bookfiles/geokniga-advanceddrillingandwelltechnology.pdf> - kitap.

Авторлар туралы мәлімет:

Тулегенова Ә.Н. – э.ғ.к., «Компьютерлік ғылымдар» БББ қауымдастырылған профессоры, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан, +7 707 284 7000, etulegenova80@mail.ru

Адранова А.Б. – PhD, «Компьютерлік ғылымдар» БББ қауымдастырылған профессоры, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан, +7 771 284 7200, aselhan.adranova@mail.ru

Ғалымжанқызы Ә. – т.ғ.м., «Компьютерлік ғылымдар» БББ, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан, +7 707 134 10 02, asem.galymzhankyzy@gmail.com

Әлиасқар Ә. – т.ғ.м., «Компьютерлік ғылымдар» БББ оқытушысы, Қорқыт Ата атындағы Қызылорда университеті, Қызылорда қ., Қазақстан, +7 747 404 55 27, asiia.aliaskar@gmail.com

Тулегенова Ә.Н. – к.э.н., ассоциированный профессор ОП «Компьютерные науки», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г.Кызылорда, Казахстан, +7 707 284 7000, etulegenova80@mail.ru

Адранова А.Б. – PhD, ассоциированный профессор ОП «Компьютерные науки», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г.Кызылорда, Казахстан, +7 771 284 7200, aselhan.adranova@mail.ru

Ғалымжанқызы А. – м.т.н., преподаватель ОП «Компьютерные науки», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г.Кызылорда, Казахстан, +7 707 134 10 02, asem.galymzhankyzy@gmail.com

Алиасқар А. – м.т.н., преподаватель ОП «Компьютерные науки», Кызылординский университет имени Коркыт Ата, г.Кызылорда, Казахстан, +7 747 404 55 27, asiia.aliaskar@gmail.com

Tulegenova E.N. – Candidate of Economic Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, +7 707 284 7000, etulegenova80@mail.ru

Adranova A.B. – PhD, Associate Professor of the Department of Computer Science, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, +7 771 284 7200, aselhan.adranova@mail.ru

Galymzhankyzy A. – Master of Technical Sciences, teacher of the Department of Computer Science, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, +7 707 134 10 02, asem.galymzhankyzy@gmail.com

Aliaskar A. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science, Korkyt Ata Kyzylorda University, Kyzylorda, Kazakhstan, +7 747 404 55 27, asiia.aliaskar@gmail.com



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 67.25.03

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-125-140>

Научная статья

Концепция «справедливого города» Сьюзан Файнштейн на примере рекреационных зон города Астаны

А.Н. Баракбаев*^{1,2} , Т.Т. Мусабиев¹ , С.Э. Мамедов³ , А.М. Мулдагалиева^{1,3} 

¹РГП «Госградкадастр», г.Астана, Казахстан

²КазАТУ им. С.Сейфуллина, г.Астана, Казахстан

³Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан

(E-mail: *Arslan_barakbaev@mail.ru)

Аннотация. Сьюзан Файнштейн, хотя не использует термин «справедливый город» как свой собственный, все же является одним из наиболее глубоко погруженных в проблематику справедливости в городах. В своей книге она пытается ответить на вопрос: «Как мы можем создать и поддерживать демократические города, в которых учитываются различные потребности, способности и стремления жителей, где они могут жить полноценной жизнью, свободной от маргинализации и притеснений?». Сьюзан Файнштейн видит проблему городской справедливости в противоречии между развитием и перераспределением, где коллективное благо превалирует над личным. Она считает, что источники позитивных изменений должны исходить одновременно от стратегий общественных движений и социальных действий. С помощью методологии Сьюзан Файнштейн можно произвести анализ, соответствуют ли рекреационные пространства Астаны принципам «справедливого города» в контексте их общедоступности и инклюзивности. Исследование направлено на расширение дискурса городской справедливости и рассмотрении возможных предложений для городского планирования. Таким образом, методология Сьюзан Файнштейн становится инструментом оценки, насколько Астана отражает принципы справедливого и равноправного городского пространства через призму рекреационных зон. Статья анализирует проблему городского равенства, подчеркивая необходимость баланса между развитием и перераспределением рекреационных зон в городе.

Ключевые слова: градостроительное планирование, справедливый город, рекреационные зоны.

Поступила 2.02.2024. Доработана 26.02.2024. Одобрена 14.08.2024. Доступна онлайн 30.09.2024

^{1*}автор для корреспонденции

Введение

Рекреационные пространства в городах играют ключевую роль в определении их развития, создавая удобные условия для повседневной жизни горожан. Новые тенденции в процессах урбанизации подчеркивают необходимость пересмотра и корректировки основных принципов организации и управления городским пространством.

Переход к развитию городских территорий неизбежно приводит к изменениям в образе жизни жителей и структуре окружающей среды. Расширение застройки различных функциональных зон становится необходимостью, особенно при ограниченных ресурсах. Это ведет к существенным изменениям в характеристиках застройки, в первую очередь, в архитектурном аспекте, который определяет искусственное пространство.

Современное архитектурное пространство должно соответствовать не только базовым требованиям, но и полностью отвечать потребностям современного общества [1].

В этом контексте особое внимание уделяется созданию рекреационных пространств. Рекреационные зоны представляют собой территории, предназначенные для организации отдыха и досуга населения. Они могут быть различными по функциональному назначению, включая детские и спортивные площадки, зоны творчества и отдыха. Эти пространства не только повышают качество жизни горожан, но и имеют экономическую значимость [1].

В процессе быстрой урбанизации городские зеленые насаждения становятся все более значимыми для жизни городских жителей. Большие городские парки, в частности, высоко ценятся среди жителей города за их ценность в поддержании здоровья и благополучия человека. Они способствуют улучшению антропогенной среды, включая контроль за загрязнением воздуха и шумом, смягчение эффекта городского теплового острова и сохранение биоразнообразия [2].

Помимо этого, городские зеленые насаждения предоставляют пространство для взаимодействия человека с природой, способствуют улучшению физического и психического здоровья через физическую активность, отдых и медитацию. В контексте социального благополучия, городские парки способствуют социальной сплоченности, обеспечивая место для социальных взаимодействий, а крупные парки способствуют формированию коллективной идентичности и памяти, что, в свою очередь, формирует идентичность города [2].

Также соседство с зелеными рекреационными зонами может значительно повлиять на стоимость недвижимости в окружающих районах. Наличие парков, скверов, садов или других зеленых зон вблизи жилых комплексов или домов создает привлекательную среду для потенциальных покупателей или арендаторов недвижимости [3] [4].



Рисунок 1. Ботанический сад в городе Астане

Значительное влияние на формирование рекреационных пространств оказывает система озеленения. Многочисленные исследования подчеркивают положительное воздействие зеленых зон на качество жизни городского населения как с экологической, так и с эстетической точек зрения [3].

Исследователи начинают задумываться о вопросе социального производства городского пространства, о процессе трансформации города в результате взаимодействия между городскими властями, градостроителями, архитекторами, строителями и обычными горожанами. Взаимодействие указанных факторов как между собой, так и с окружающей городской средой, оказывает значительное воздействие на процесс формирования и трансформации городской среды. Это воздействие может иметь разнообразные последствия и требует анализа с использованием различных теоретических и методологических подходов. В результате возникает концепция "справедливого города", которая нацелена на обеспечение равноправного участия и учета интересов всех участников в процессе формирования и развития городской среды [5].

В данном исследовании рассматриваются городские рекреационные зоны Астаны, такие, как городские парки, скверы и сады, как основные места сосредоточения зеленых насаждений в городе. Эти зоны играют ключевую роль в фильтрации воздуха и действуют как естественные барьеры, задерживая и перехватывая загрязнения из атмосферы.

Важно отметить, что помимо количества рекреационных зон, имеет значение и равномерное распределение таких зон по территории города. При анализе справедливого и равного распределения рекреационных зон в городе Астане авторы прибегают к методологии «справедливого города» Сьюзан Файнштейн [6]. Цель данного исследования заключается во внесении своего вклада в активно развивающийся дискурс "справедливого города" в Казахстане путем оценки степени равномерности распределения зеленых рекреационных зон в городе Астане.

Рекреационные зоны стали признанным фактором снижения рисков, связанных с образом жизни горожан в целом и наиболее уязвимых групп населения, в частности. Обеспечение равного доступа к безопасным и инклюзивным городским зеленым

зонам является одним из приоритетов Стратегии устойчивого развития ООН и темой международных деклараций. Качество, доступность и использование таких пространств играют важную роль в общем состоянии здоровья населения города. Таким образом, обеспечение и поддержание качественных рекреационных зон в городах может внести важный вклад в сокращение неравенства.

При написании своей книги Сьюзан Файнштейн ориентировалась на концепцию справедливости в контексте городского планирования [6] [7]. Она задавала вопрос: каков будет облик города, если мы применим понятие «справедливый город» в городском планировании [6]. Основная идея «справедливого города» заключается в справедливом распределении материальных и нематериальных благ между жителями города, независимо от их власти или авторитета [6]. В 1960-х годах ученые критиковали градостроительные решения, приоритезирующие дорогостоящую застройку центра города и крупных спортивных сооружений в ущерб развитию микрорайонов, пригородов и промышленных предприятий [8]. Идеи «справедливого города» впервые были сформулированы в Америке в 1970-х годах на основе работ таких мыслителей, как Джейн Джейкобс, которая говорила о многообразии в городах, Джон Роулз о справедливости, а также либеральных идеях Юнга [9]. Концепция «справедливого города» способствовала улучшению доступности архитектурной среды и преодолению проблем расовой сегрегации, финансовых трудностей, преступности и социального напряжения в американских городах [7].

В 2010 году Сьюзан Файнштейн опубликовала книгу «The Just City» [6], в которой попыталась разработать общую теорию «справедливого города», став одним из первопроходцев в этой области. Сьюзан Файнштейн отмечает, что у ранних градостроителей преобладали утопические концепции, например, Эбенезер Говард выработал видение идеального города, в то время как представители постмодернизма, такие, как Дженни Джейкобс, предпочитали более реалистичный подход [6]. Они считали, что полезнее рассматривать уже существующие города, которые наилучшим образом отвечают нашим целям, и использовать их в качестве образца для других. Следует отметить, что это не означает простого копирования лучшего опыта, поскольку каждый контекст уникален. Тем не менее, более реалистичный утопизм, предложенный Сьюзан Файнштейн, начинается с осознания того, что возможно в рамках существующих экономических условий. Также Сьюзан Файнштейн отмечает, что более конкурентоспособный или глобальный город не обязательно является «справедливым городом», где качество жизни большинства жителей достигает высокого уровня [10].

В работе Сьюзан Файнштейн одной из центральных тем является вопрос о принципах, которыми должны руководствоваться градостроители при разработке стратегий, основанных на принципах справедливости [6].

Методология

В проведенном исследовании был использован ряд методов:

1. Метод анализа документов был применен на начальном этапе исследования для изучения литературных и научных источников, посвященных концепции справедливого

города, а также работам Сьюзан Файнштейн. После сбора материала был проведен его детальный анализ.

2. Метод градостроительного проектирования был применён для анализа рекреационных зон города Астаны и их влияния на уровень комфорта проживания и экономическую эффективность жилой среды.

3. Метод полевого исследования заключался в изучении рекреационных пространств города Астаны непосредственно на месте.

4. Метод сравнительного анализа был использован для сопоставления концепции справедливого города, сформулированной Сьюзан Файнштейн, с реальной ситуацией в рекреационных зонах города Астаны.

5. Метод обобщения результатов был применен на заключительном этапе исследования для обобщения и уточнения полученных результатов в связи с масштабом исследования.

Результаты и Обсуждение

Сьюзан Файнштейн, всемирно известный градостроитель и ученый, родилась в Нью-Йорке 26 октября 1944 года. Она выросла в Бруклине, многонациональном районе, который претерпевал значительные изменения из-за послевоенной политики миграции и обновления городов. Этот опыт формирования оказал глубокое влияние на ее работу в будущем, поскольку она стремилась понять и улучшить городскую жизнь для всех [7].

Интерес к городским проблемам зародился у Сьюзан Файнштейн во время учебы в Корнельском университете, где она изучала государственное управление и философию. Позже она поступила в аспирантуру Колумбийского университета, где получила степень магистра и доктора наук в области городского планирования [7]. Академическая и профессиональная карьера Сьюзан Файнштейн насчитывает несколько десятилетий, в течение которых она внесла значительный вклад в область городских исследований. Ее экспертиза в области городского планирования сделала ее одним из ведущих ученых в этой области, а ее работы получили широкое признание. В сферу ее основных исследовательских интересов входят социальная справедливость, городское развитие и жилищная политика [7].

Сьюзан Файнштейн начала изучать концепцию справедливого города в 1998 году. Хотя она никогда не давала этому термину официального статуса, она была глубоко заинтересована в аспектах «справедливости» в городах. Ее основным вопросом было: «Как мы можем создать демократические города, которые учитывают разнообразные потребности, способности и амбиции их жителей, где жители могут вести полноценную жизнь, свободную от маргинализации и притеснений?» [6].

Сьюзан Файнштейн идентифицирует проблему «справедливости» в городе как противоречие между процессами развития и перераспределения, в котором общественное благо приобретает преимущество перед индивидуальными интересами, а источники позитивных изменений происходят как от стратегий и целей социальных движений, так и от соответствующей государственной политики. В этом контексте она высказывает критику в адрес теоретиков коммуникативного планирования, которые сосредотачивали свое внимание на дискурсах демократических преобразований в городе и рассматривали эти дискурсы как достижение «справедливого города» [8].

Сьюзан Файнштейн высказывает мнение о том, что ранние градостроители придерживались утопических идеалов, вроде того, что Эбенезер Говард создал своеобразное представление об идеальном городе. Однако постмодернисты, такие, как Джейн Джейкобс, предлагают более реалистичный подход, рассматривая существующие города как образцы, которые можно использовать в качестве моделей для других [7]. Основной целью Сьюзан Файнштейн при написании своей книги было рассмотрение принципов, которыми следует руководствоваться городским властям при разработке стратегий развития и генеральных планов с целью создания «справедливого города» [6]. Сьюзан Файнштейн указывает, что высокий уровень конкурентоспособности или глобальный статус города не обязательно свидетельствуют о его «справедливости» или о наличии высоких стандартов качества жизни для всех жителей [8]. Она приводит примеры, основанные на американском опыте, где, несмотря на значительный экономический рост после кризиса 1970-х годов, наблюдалось увеличение неравенства в городах. Сьюзан Файнштейн утверждает, что аргумент о том, что экономический рост способствует улучшению социальных услуг для уязвимых групп населения, в большинстве случаев не подтверждается. Изучая философию, Сьюзан Файнштейн выделяет три основных принципа: демократию, многообразие и равенство. Выбор этих принципов Сьюзан Файнштейн объясняет путем рассмотрения работ различных философов [6].

Принцип равенства подчеркивает, что в условиях конкуренции между городами за инвестиции эта борьба за конкурентоспособность может привести к ситуации, когда городам остается мало ресурсов для распределения. Политические решения, направленные на привлечение «жестких» инвестиций в здания и инфраструктуру, часто предпочтительны перед «мягкими» инвестициями в человеческий капитал, так как они более заметны и достижимы в краткосрочной перспективе [6]. Сьюзан Файнштейн аргументирует, что внедрение принципа справедливости в процесс принятия решений в городах может улучшить положение более уязвимых и бедных слоев населения, влияя на конкретные решения. Чаще всего городская политика, осуществляемая в рамках стремления к росту, благоприятствует богатым, а не малоимущим [6].

Принцип многообразия подчеркивает важность создания инклюзивных сообществ, которые учитывают культурное, социальное и расовое разнообразие. Одним из его ключевых аспектов является обеспечение равных возможностей для всех, независимо от их происхождения. Это включает доступ к основным услугам, таким, как здравоохранение, образование и жилье, независимо от социально-экономического статуса. Еще одной целью принципа многообразия является создание возможности для людей с разным уровнем дохода жить в одном сообществе, что способствует социальной интеграции и обмену опытом [6].

В концепции справедливого города рекреационные пространства занимают важное место, так как они способствуют созданию городской среды, справедливой и равноправной для всех жителей, независимо от их социального или экономического статуса. Рекреационные зоны играют ключевую роль в поддержании активного образа жизни, физической активности и улучшении здоровья горожан. Доступ к таким зонам важен для общественного благополучия, однако он не всегда равномерен из-за различий в социальном статусе и доходах.

Одним из основных вопросов является выбор местоположения рекреационных зон. Они должны быть разумно распределены относительно жилых районов, чтобы

обеспечить удобный доступ для всех горожан. Однако на практике часто случается так, что рекреационные зоны концентрируются в более богатых районах, что создает неравенство в доступе к ним. Этот феномен является важной проблемой, которая требует внимания в контексте усилий по созданию справедливого городского пространства.

Реализация идеи «справедливого города» предполагает соответствие каждого компонента этой концепции ее основным принципам. При использовании принципов «справедливого города» в развитии рекреационных зон города можно достичь нескольких преимуществ, включая улучшение доступности, повышение социальной связности и экологической устойчивости. Размещение мест отдыха в местах, доступных для всех жителей, независимо от их доходов, расовой принадлежности или физических возможностей, способствует социальной интеграции и уменьшению неравенства в доступе к общественным благам.

Принцип демократии в развитии рекреационных зон гарантирует, что голоса и мнения местного населения будут услышаны и учтены в процессе принятия решений [11]. Это означает привлечение граждан к планированию и проектированию рекреационных зон, а также к выбору тематики зоны и удобств, которые там будут доступны [11]. Этот принцип важен, поскольку учитывает потребности и мнения всех членов городского сообщества, делая проектирование и реализацию рекреационных пространств более инклюзивными и справедливыми [11]. При создании рекреационных пространств принцип демократии подчеркивает вовлечение различных групп в процесс планирования и принятия решений. Сюда входят люди, которые часто пользуются пространством, лидеры общин и представители маргинализированных групп, которые ранее могли быть полностью исключены из процесса принятия решений. Через взаимодействие и совместную работу с различными группами населения рекреационные зоны могут быть спланированы таким образом, чтобы приносить пользу всем горожанам. Одним из важных аспектов принципа демократии в концепции «справедливый город» является справедливое распределение рекреационных объектов по всему городу. Гарантируя доступ к таким местам в тех районах, которые ранее не получали достаточного внимания, жители смогут наслаждаться благоприятными рекреационными возможностями. Близость к зеленым зонам, велосипедным дорожкам и спортивным сооружениям оказывает значительное положительное воздействие на здоровье [12]. В условиях продолжающегося роста и развития городов потребность в рекреационных зонах, удовлетворяющих разнообразные потребности жителей, становится все более актуальной [12] [13].

Принципы «справедливого города» требуют, чтобы рекреационные зоны предоставляли разнообразие объектов и удобств, способных удовлетворить потребности людей разных возрастных групп, полов, физических способностей и культурных традиций. В «справедливом городе» рекреационные зоны должны учитывать разнообразные интересы и предпочтения жителей [14]. Люди увлекаются различными хобби и занятиями, поэтому зоны отдыха должны предоставлять широкий спектр возможностей для этих занятий. Также следует предусмотреть объекты для различных возрастных групп, включая игровые площадки для детей и развлечения для пожилых людей [15]. Важно иметь разнообразные рекреационные зоны в различных частях города, такие, как скверы, бульвары, парки и сады [13].

«Справедливые города» должны стремиться к формированию рекреационных зон, в которых основное внимание уделяется справедливости, гарантируя доступность благ и возможностей, связанных с данными пространствами, для всех жителей [16]. Принципы равенства требуют, чтобы никто не был исключен из рекреационных зон из-за экономических, социальных или культурных барьеров. «Справедливый город» должен обеспечить доступность своих рекреационных зон для всех, независимо от их экономического статуса [17]. Это предполагает, что места отдыха должны быть доступными и, по возможности, бесплатными [18]. Также необходимо обеспечить равный доступ к рекреационным зонам независимо от их местоположения. Равный удобный доступ для автомобилей и жителей, пользующихся общественным транспортом, должен быть также учтён [13].

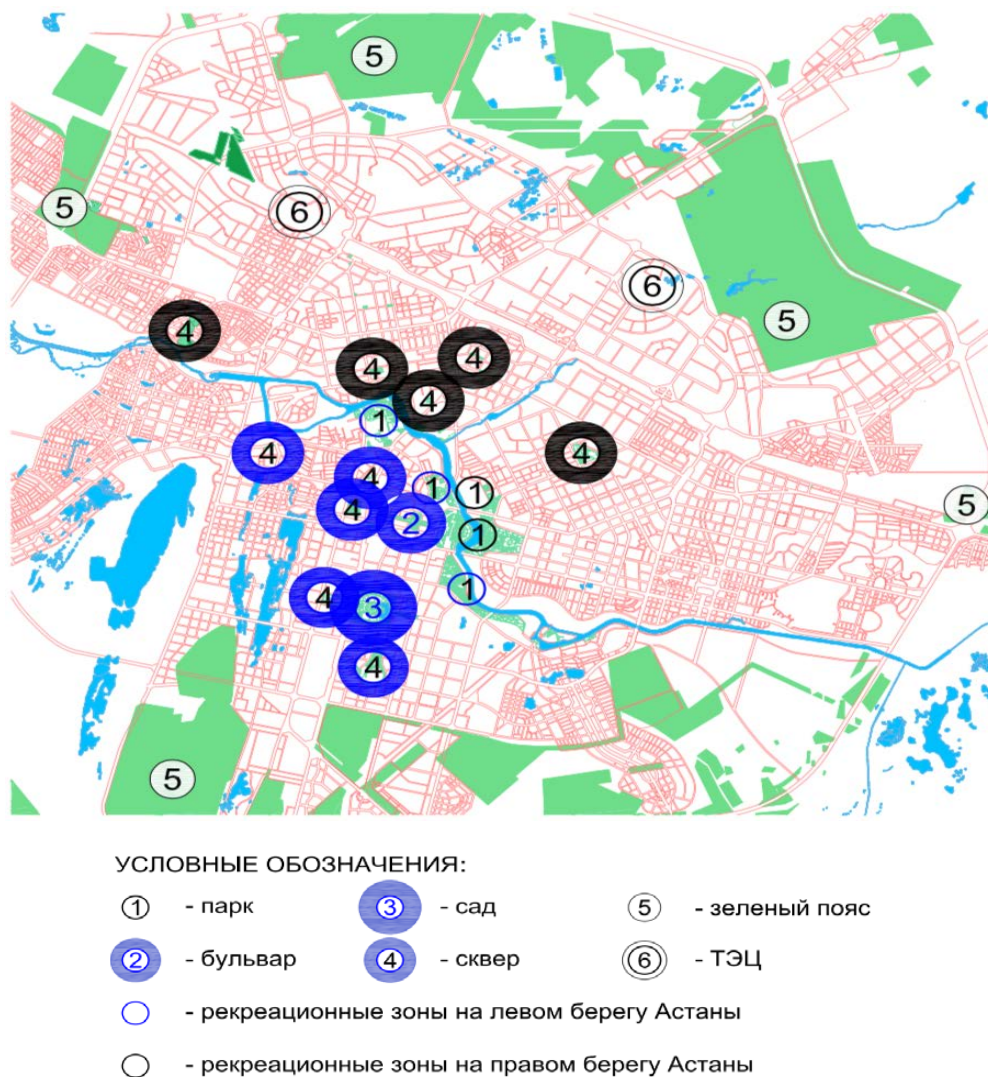


Рисунок 2. Анализ зеленых зон Астаны

Рекреационные пространства обычно подразделяются на две категории: естественные, расположенные в природной среде, и искусственные [12]. На основе представленной схемы благоустройства (Рис.2) видно, что значительная часть рекреационных пространств относится к искусственным зонам. Также стоит отметить, что множество рекреационных пространств размещены в местах с политической значимостью. Политически значимыми местами в городе являются, например, районы левого берега, включая окрестности президентского дворца Акorda, площадь Байтерек и зону выставочного комплекса Экспо. Тем не менее, нельзя утверждать, что весь левый берег города полностью обеспечен рекреационными пространствами. Что касается типов рекреационных зон, наиболее распространенными являются парки и скверы. На левом берегу города обнаружено наличие 5 парков и 3 скверов. Кроме того, выделены типы единичных рекреационных пространств такие, как, сады (Ботанический сад) и бульвары (бульвар Нурлы Жол). В районах правобережной части города отмечается наличие 4 парков и 2 скверов. В целом другие типы рекреационных зон на правом берегу города отсутствуют. На Рисунке 2 видно, что на правом берегу города присутствует значительный дефицит рекреационных зон.

В то время как большинство рекреационных зон на левом берегу сосредоточены в политически значимых местах, расположенных близко друг к другу, наблюдается неравномерное распределение рекреационных пространств, что приводит к недостатку зеленых зон в некоторых районах левого берега.

Также обнаружены экологически опасные точки в городской структуре, включая ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, расположенные на правом берегу города. В 2015 году общее потребление первичной энергии в Астане достигло 22 миллиардов киловатт-часов, причем около 70% этого потребления приходится на уголь [19]. ТЭЦ-2 вносит наибольший вклад в общий объем производства электроэнергии, генерируя около 80% электроэнергии, потребляемой в городе. ТЭЦ-2 работает круглогодично и производит как тепловую, так и электрическую энергию [19]. ТЭЦ-2 относится к первой категории по степени опасности загрязнения воздуха, поскольку использует местный уголь с высоким содержанием золы (>40%) и примесей. Таким образом, можно утверждать, что ТЭЦ-2 в городе Астана, является ключевым источником загрязнения воздуха [19].

Для смягчения негативного воздействия антропогенного загрязнения воздуха, являющиеся основными источниками выбросов вредных веществ в Казахстане, прибрежные зоны, подвергаются озеленению с использованием растительных насаждений.



Северная сторона ТЭЦ-2

Западная сторона ТЭЦ-2

Рисунок 3. Санитарно-защитная зона ТЭЦ-2

Согласно санитарно-эпидемиологическим требованиям к проектированию, утвержденным приказом Министерства здравоохранения для предприятий 1-го класса опасности, размер санитарно-защитной зоны ТЭЦ-2 в Астане должно составлять не менее 1000 м (Рис. 2). При визуальном осмотре территории ТЭЦ-2 было выявлено, что санитарно-защитная зона с северной стороны представляет собой склады и другие хозяйственные постройки, при осмотре санитарно-защитной зоны с западной стороны зеленые насаждения отсутствуют.

Растительный покров на территории города играет ключевую роль в улучшении качества жизни горожан. Одним из важных аспектов этой роли является способность растений снижать уровень загрязнения воздуха. Это подтверждается результатами исследований [20], которые отмечают, что растения оказывают положительное воздействие на качество атмосферы в городских районах. Другие исследования [21] [22] также подтверждают этот факт, указывая на способность зеленых насаждений фильтровать воздух и снижать уровень загрязняющих веществ. Зеленые насаждения действуют как своего рода фильтр, который перехватывает, изменяет и уменьшает потоки загрязнений в воздухе, препятствуя их попаданию к населению. Более того, зеленые насаждения способны модифицировать траекторию и параметры движения твердых аэрозольных частиц, а также временно или окончательно удалить их из атмосферы [23].

Заключение

Принципы концепции справедливого города, которые были внедрены в европейских и американских городах в начале 2000-х годов, не нашли своего применения в градостроительстве Астаны. Неравномерное размещение рекреационных зон в городе противоречит основным принципам этой концепции: многообразию, равенству и

демократии. Это вызывает необходимость проведения дальнейших исследований и анализа с целью привнесения принципов справедливого города в практику градостроительства Астаны. Этот процесс может включать в себя пересмотр планировочных решений, перераспределение ресурсов и улучшение доступа к рекреационным зонам для всех горожан. Такие действия могут способствовать созданию более устойчивой и справедливой городской среды, соответствующей современным стандартам развития и благополучия городского сообщества.

Согласно принципам «справедливого города», предложенным Сьюзан Файнштейн, и анализу ситуации в городе Астана, можно сделать вывод, что город не соответствует требованиям «справедливого города» в отношении рекреационных зон. Большинство таких зон располагаются в политически значимых районах города, что противоречит основным принципам концепции. Кроме того, отсутствие или недостаточное количество зеленых рекреационных зон наблюдается на правом берегу города вблизи экологически опасных зон, таких как ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2, где зеленые рекреационные зоны могли бы стать естественным барьером, защищающим жителей данных районов от загрязнений.

Это обуславливает необходимость разработки стратегий по созданию и развитию зеленых рекреационных зон на правом берегу города, особенно вблизи экологически опасных зон, таких как ТЭЦ-1 и ТЭЦ-2. Принятие таких мер поможет не только улучшить качество жизни жителей в этих районах, но и смягчить воздействие загрязнений на окружающую среду, обеспечивая естественный барьер и защиту от негативных воздействий промышленных объектов.

Также заметна разница в разнообразии рекреационных зон между левым и правым берегами города: на левом берегу представлены все типы рекреационных зон, что не наблюдается на правом берегу.

Данное исследование приобретает актуальность в контексте недостаточного освещения темы концепции «справедливого города» в академической литературе Казахстана. Отсутствие систематического анализа этой концепции в научных работах создает пробел в современном понимании градостроительных аспектов.

Вклад авторов:

Баракбаев А.Н., Мамедов С.Э. – концепция, методология, ресурсы, сбор данных, тестирование.

Мусабаев Т.Т. – моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, написание, редактирование.

Мулдагалиева А.М. – сбор данных, написание, редактирование.

Список литературы

1. Dorozhkina, E.A. (2020). Some Trends in the Formation of Recreational Spaces in Urban Development. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 753 (2020) 042079 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/753/4/042079

2. Yli-Pelkonen, V. (2013), "Importance of recreational ecosystem services in Helsinki, Finland", *Management of Environmental Quality*, Vol. 24 No. 3, pp. 365-382. <https://doi.org/10.1108/14777831311322668>
3. Crompton, J. L. (2001). *The Impact of Parks on Property Values: A Review of the Empirical Evidence*. *Journal of Leisure Research*, 33(1), 1–31. <https://doi.org/10.1080/00222216.2001.11949928>
4. Hammer, T. R., Coughlin, R. E., & Horn, E. T. (1974). The Effect of a Large Urban Park on Real Estate Value. *Journal of the American Institute of Planners*, 40(4), 274–277. <https://doi.org/10.1080/01944367408977479>
5. Li, F., Yao, N., Liu, D., Liu, W., Sun, Y., Cheng, W., Li, X., Wang, X., Zhao, Y., (2021). Explore the recreational service of large urban parks and its influential factors in city clusters – Experiments from 11 cities in the Beijing-Tianjin-Hebei region, *Journal of Cleaner Production*, Volume 314, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128261>.
6. Fainstein, S. S. (2010) *The 'The Just City'*. Cornell University Press, 2010. JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/10.7591/j.ctt7zhwt>.
7. Fainstein, S. S. (2000). *New Directions in Planning Theory*. *Urban Affairs Review*, 35(4), 451-478. <https://doi.org/10.1177/107808740003500401>
8. Fainstein, S. (2015), *Resilience and Justice*. *Int J Urban Regional*, 39: 157-167. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12186>
9. Dumm, T. L. (1992). *'Justice and the Politics of Difference*. By Iris Marion Young. Princeton: Princeton University Press, 1990. 286p. *The American Political Science Review*, 86(2), pp. 520–521. doi: 10.2307/1964259.
10. Fainstein, S.S. (2014) *The 'The Just City'*, *International Journal of Urban Sciences*, 18:1, 1-18, DOI: 10.1080/12265934.2013.834643.
11. Sherry R. Arnstein (1969) *A Ladder of Citizen Participation*, *Journal of the American Institute of Planners*, 35:4, 216-224, DOI: 10.1080/01944366908977225
12. Efimova T.B., Sviridovskiy A.I. (2021) *Zelenyy gorod. Ustoychivost gorodskih landshaftov*. *Vestnik KazGASA*. – 2021. – №2(80). – S. 86-89.
13. Suhina E.A. (2014) *Ekologicheskie normativyi v arhitekturno-gradostroitel'nom proektirovanii: dis. kand. arh.: 05.23.20 – Saratov, 2014. – 264 s.*
14. Fraser, Nancy. (2006). *Recognition or Redistribution? A Critical Reading of Iris Young's Justice and the Politics of Difference**. *Journal of Political Philosophy*. 3. 166 - 180. DOI:10.1111/j.1467-9760.1995.tb00033.x
15. Gehl, J., (2010). *Cities for people*. Washington, DC: Island Press. <https://www.jstor.org/stable/43030969>
16. Healey, P., (2007). *Urban Complexity and Spatial Strategies: Towards a Relational Planning for Our Times*. The RTPI Library Series. <https://www.alnap.org/system/files/content/resource/files/main/healey.pdf>.
17. Lovett, F. (2011). *Rawls's A theory of justice [electronic resource]: a reader's guide*. London: Continuum. <https://giuseppicapograssi.files.wordpress.com/2014/08/rawls99.pdf>
18. Wilson, Yolonda. (2013). *Responsibility for Justice*, by Iris Marion Young. * *Responsibility and Justice*, by Matt Matravers.. *Mind*. DOI:10.1093/mind/fzt048

19. Toxanov, S., Neftissov A., Abzhanova D., Kazambayev (2022) THE CONCEPT OF THE SMART CITY OF ASTANA: ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES AND SOLUTIONS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. Scientific Journal of Astana IT University. DOI: 10.37943/TCVA7066

20. Mori, Jacopo & Ferrini, Francesco & Sæbø, Arne. (2018). Air pollution mitigation by urban greening. Italus Hortus. DOI: 10.26353/j.itahort/2018.1.1322.

21. David J. Nowak, Daniel E. Crane, Jack C. Stevens, (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States, Urban Forestry & Urban Greening, Volume 4, Issues 3–4, 2006, Pages 115-123, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>.

22. Simon, Edina & Braun, Mihaly & Vidic, Andreas & Bogyó, Dávid & Fábíán, István & Tóthmérész, Béla. (2011). Air pollution assessment based on elemental concentration of leaves tissue and foliage dust along an urbanization gradient in Vienna. Environmental pollution (Barking, Essex : 1987). 159. 1229-33. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.01.034.

23. Diener A, Mudu P. (2021). How can vegetation protect us from air pollution? A critical review on green spaces' mitigation abilities for air-borne particles from a public health perspective - with implications for urban planning. Sci Total Environ. 2021 Nov 20; 796:148605. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148605. Epub 2021 Jun 24. PMID: 34271387.

А.Н Баракбаев*^{1,2}, Т.Т Мусабаев¹, С.Э Мамедов³, А.М. Мулдағалиева^{1,3}

¹ «Мемқалақұрылыскадастры» РМК, Астана, Қазақстан

² «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ

³ Л.Н Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Сюзан Файнштейннің Астана қаласының рекреациялық аймақтарының мысалында «әділ қала» тұжырымдамасы

Андатпа. Сюзан Фейнштейн «әділ қала» терминін өзінше қолданбаса да, қалалардағы әділдік мәселесіне ең терең енгендердің бірі. Ол өз кітабында: «Тұрғындардың әртүрлі қажеттіліктерін, қабілеттері мен ұмтылыстарын қамтитын, маргинализация мен қысымнан азат, қанағаттанарлық өмір сүре алатын демократиялық қалаларды қалай құруға және қолдауға болады?» деген сұраққа жауап беруге тырысады. Сюзан Файнштейн қалалық әділеттілік мәселесін даму мен қайта бөлу арасындағы шиеленіс ретінде қарастырады, мұнда ұжымдық игілік жеке адамнан басым болады. Ол оң өзгерістердің көздері әлеуметтік қозғалыстан да, әлеуметтік әрекет стратегияларынан да болуы керек деп санайды. Сюзан Файнштейннің әдістемесін пайдалана отырып, Астананың рекреациялық кеңістіктерінің жалпы қолжетімділік және инклюзивтілік контекстінде «әділ қала» қағидаттарына сәйкестігін талдауға болады. Зерттеу қалалық әділет туралы дискурсты кеңейтуге және қала құрылысы бойынша ықтимал ұсыныстарды зерттеуге бағытталған. Осылайша, Сюзан Файнштейннің әдістемесі Астананың рекреациялық аймақтар призмасы арқылы әділ және тең құқықты қалалық кеңістік принциптерін көрсету дәрежесін бағалау құралына айналады. Мақалада қаладағы рекреациялық аймақтарды дамыту мен қайта бөлу арасындағы тепе-теңдікті сақтау қажеттігін айта отырып, қалалық теңдік мәселесі талданады.

Түйін сөздер: Қала құрылысы, жәрмеңке қала, рекреациялық аймақтар.

A.N Barakbayev*1,2, T.T Musabayev1, S.E Mamedov, A.M Muldagaliyeva1,3

¹*RSE Gosgradkadastr, Astana, Kazakhstan*

²*S. Seifulin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan*

³*L.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

The concept of «The Just City» by Susan Fainstein using the example of recreational areas of the city of Astana

Abstract. Susan Fainstein, while not using the term "just city" as her precinct, is still one of the most profound questions about justice in cities. It seeks to answer the question: "How can we create and sustain democratic cities that embrace the diverse forms, abilities and aspirations of residents, where they can live fulfilling lives free from marginalization and oppression?" Susan Fainstein sees the problem of urban justice in the tension between development and redistribution, where the collective good takes precedence over the individual. She believes that sources of positive change must come from both social movement and social action strategies. Using Susan Fainstein's methodology, it is possible to analyze whether Astana's recreational spaces comply with the principles of a "just city" in the context of their general accessibility and inclusiveness. The study aims to expand the discourse on urban justice and explore possible proposals for urban planning. Thus, Susan Fainstein's methodology becomes a tool for assessing the extent to which Astana reflects the principles of fair and equitable urban space through the prism of recreational areas. The article analyzes the problem of urban equality, emphasizing the need for a balance between the development and redistribution of recreational areas in the city.

Keywords: Urban planning, just city, recreational areas.

References

1. Dorozhkina, E.A. (2020). Some Trends in the Formation of Recreational Spaces in Urban Development. IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering 753 (2020) 042079 IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/753/4/042079
2. Yli-Pelkonen, V. (2013), "Importance of recreational ecosystem services in Helsinki, Finland", *Management of Environmental Quality*, Vol. 24 No. 3, pp. 365-382. <https://doi.org/10.1108/14777831311322668>
3. Crompton, J. L. (2001). The Impact of Parks on Property Values: A Review of the Empirical Evidence. *Journal of Leisure Research*, 33(1), 1–31. <https://doi.org/10.1080/00222216.2001.11949928>
4. Hammer, T. R., Coughlin, R. E., & Horn, E. T. (1974). The Effect of a Large Urban Park on Real Estate Value. *Journal of the American Institute of Planners*, 40(4), 274–277. <https://doi.org/10.1080/01944367408977479>
5. Li, F., Yao, N., Liu, D., Liu, W., Sun, Y., Cheng, W., Li, X., Wang, X., Zhao, Y., (2021). Explore the recreational service of large urban parks and its influential factors in city clusters – Experiments from 11 cities in the Beijing-Tianjin-Hebei region, *Journal of Cleaner Production*, Volume 314, <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128261>.
6. Fainstein, S. S. (2010) *The 'The Just City'*. Cornell University Press, 2010. JSTOR, <http://www.jstor.org/stable/10.7591/j.ctt7zhwt>.

7. Fainstein, S. S. (2000). New Directions in Planning Theory. *Urban Affairs Review*, 35(4), 451-478. <https://doi.org/10.1177/107808740003500401>
8. Fainstein, S. (2015), Resilience and Justice. *Int J Urban Regional*, 39: 157-167. <https://doi.org/10.1111/1468-2427.12186>
9. Dumm, T. L. (1992). 'Justice and the Politics of Difference. By Iris Marion Young. Princeton: Princeton University Press, 1990. 286p. *The American Political Science Review*, 86(2), pp. 520–521. doi: 10.2307/1964259.
10. Fainstein, S.S. (2014) The 'The Just City', *International Journal of Urban Sciences*, 18:1, 1-18, DOI: 10.1080/12265934.2013.834643.
11. Sherry R. Arnstein (1969) A Ladder of Citizen Participation, *Journal of the American Institute of Planners*, 35:4, 216-224, DOI: 10.1080/01944366908977225
12. Efimova T.B., Sviridovskiy A.I. (2021) Zelenyyi gorod. Ustoychivost gorodskih landshaftov. *Vestnik KazGASA*. – 2021. – №2(80). – S. 86-89.
13. Suhina E.A. (2014) *Ekologicheskie normativyi v arhitekturno-gradostroitel'nom proektirovanii: dis. kand. arh.: 05.23.20 – Saratov, 2014. – 264 s.*
14. Fraser, Nancy. (2006). Recognition or Redistribution? A Critical Reading of Iris Young's Justice and the Politics of Difference*. *Journal of Political Philosophy*. 3. 166 - 180. DOI:10.1111/j.1467-9760.1995.tb00033.x
15. Gehl, J., (2010). *Cities for people*. Washington, DC: Island Press. <https://www.jstor.org/stable/43030969>
16. Healey, P., (2007). *Urban Complexity and Spatial Strategies: Towards a Relational Planning for Our Times*. The RTPI Library Series. <https://www.alnap.org/system/files/content/resource/files/main/healey.pdf>.
17. Lovett, F. (2011). Rawls's A theory of justice [electronic resource]: a reader's guide. London: Continuum. <https://giuseppicapograssi.files.wordpress.com/2014/08/rawls99.pdf>
18. Wilson, Yolonda. (2013). Responsibility for Justice, by Iris Marion Young. * Responsibility and Justice, by Matt Matravers.. *Mind*. DOI:10.1093/mind/fzt048
19. Toxanov, S., Neftissov A., Abzhanova D., Kazambayev (2022) THE CONCEPT OF THE SMART CITY OF ASTANA: ENERGY-EFFICIENT TECHNOLOGIES AND SOLUTIONS FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT. *Scientific Journal of Astana IT University*. DOI: 10.37943/TCVA7066
20. Mori, Jacopo & Ferrini, Francesco & Sæbø, Arne. (2018). Air pollution mitigation by urban greening. *Italus Hortus*. DOI: 10.26353/j.itahort/2018.1.1322.
21. David J. Nowak, Daniel E. Crane, Jack C. Stevens, (2006). Air pollution removal by urban trees and shrubs in the United States, *Urban Forestry & Urban Greening*, Volume 4, Issues 3–4, 2006, Pages 115-123, <https://doi.org/10.1016/j.ufug.2006.01.007>.
22. Simon, Edina & Braun, Mihaly & Vidic, Andreas & Bogyó, Dávid & Fábrián, István & Tóthmérész, Béla. (2011). Air pollution assessment based on elemental concentration of leaves tissue and foliage dust along an urbanization gradient in Vienna. *Environmental pollution (Barking, Essex : 1987)*. 159. 1229-33. DOI: 10.1016/j.envpol.2011.01.034.
23. Diener A, Mudu P. (2021). How can vegetation protect us from air pollution? A critical review on green spaces' mitigation abilities for air-borne particles from a public health perspective - with implications for urban planning. *Sci Total Environ*. 2021 Nov 20; 796:148605. DOI: 10.1016/j.scitotenv.2021.148605. Epub 2021 Jun 24. PMID: 34271387.

Сведения об авторах:

Мусабаяев Т.Т. – Доктор технических наук, профессор, академик НИА РК, ул. Мангилик ел, 8, 010000, Астана, Казахстан

Баракбаев А.Н. – докторант PhD, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина», ул.Бейбитшилик, 73, 010000, Астана, Казахстан.

Мамедов С.Э. – PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Кажымукана, 13, 010000, Астана, Казахстан.

Мулдағалиева А.М. – магистр искусствоведческих наук, НАО «Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина», ул.Бейбитшилик, 73, 010000, Астана, Казахстан.

Мусабаяев Т.Т. – Техника ғылыми докторы, профессор, ҚР ҰИА академигі, Мәңгілік ел көшесі, 8, 010000, Астана, Қазақстан

Баракбаев А.Н. – PhD докторанты, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Бейбитшилик 73, 010000, Астана, Қазақстан

Мамедов С.Э. – PhD, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Кажымұқан 13, 010000, Астана, Қазақстан

Мулдағалиева А.М. – Өнертану ғылымдарының магистрі, «С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті» КеАҚ, Бейбитшилик 73, 010000, Астана, Қазақстан

Musabayev T.T. – Doctor of Technical Sciences, Professor, Academician of NIA RK, 8 Mangilik el st, 010000, Astana, Kazakhstan

Barakbayev A.N. – PhD candidate, Kazakh agrotechnical research university, Beibitshilik 73 st, 010000, Astana, Kazakhstan

Mamedov S.E. – PhD, L.Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukan st. 13, 010000, Astana Kazakhstan

Muldagaliev A.M. – Master of Arts, Kazakh agrotechnical research university, Beibitshilik 73 st, 010000, Astana, Kazakhstan



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 55.30.03

Научная статья

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-141-153>

Экспериментальные исследования подвешенного тросового параллельного робота

А.А. Джомартов*¹

Институт механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова, Алматы, Казахстан

(E-mail: *legsert@mail.ru)

Аннотация. Спроектирован и изготовлен прототип подвешенного тросового параллельного робота с интерфейсом управления и с тремя поступательными степенями свободы. Прототип тросового параллельного робота состоит из металлической рамы в форме прямоугольного параллелепипеда, возле основания каждой вертикальной стойки размещены лебедки с серводвигателями, предназначенные для намотки (или смотки) тросов. Другие концы тросов, проходящие через шкивы, соединяются с рабочим органом. Направление вращения, а также скорость вращения лебедок с серводвигателями задаются блоком управления, обладают тремя поступательными степенями свободы. Для определения натяжений в тросах подвешенного тросового параллельного робота использовались четыре датчика сил. Датчики сил подключаются к тензометрической измерительной системе ZET 058, которая вместе с программным обеспечением ZETLAB TENZO позволяет собирать информацию в режиме реального времени по четырем каналам одновременно. Проведены экспериментальные исследования прототипа подвешенного тросового параллельного робота путем вычерчивания траектории окружности рабочим органом. Установлено, что отклонение траектории от идеальной окружности происходит в результате колебаний натяжения в тросах. Получены экспериментальные графики натяжений в тросах при помощи датчиков сил, подключенных к измерительной тензометрической системе ZET 058. Установлено, что для повышения точности работы подвешенного тросового параллельного робота необходим постоянный контроль натяжения его тросов.

Ключевые слова: тросовый параллельный робот, рабочий орган, прототип, датчик силы, натяжение, измерительная тензометрическая система.

Поступила 10.05.2024. Доработана 12.07.2024. Одобрена 12.09.2024. Доступна онлайн 30.09.2024

¹*автор для корреспонденции

Введение

Сегодня в мире широко используется один из видов параллельного робота - тросовый параллельный робот. Для расширения зоны обслуживания обычных параллельных роботов (рисунок 1а) их жесткие звенья заменяют гибкими звеньями (тросами) и в результате получают тросовые параллельные роботы (ТПР) (рисунок 1б). ТПР по сравнению с параллельными роботами с жесткой связью имеют меньшие инерционные характеристики, высокую скорость и ускорение рабочего органа [1]. ТПР широко применяются для решения практических сложных задач вследствие большой рабочей зоны обслуживания [1]. В тросовых параллельных роботах гибкие звенья могут работать только на растяжение и теряют свою работоспособность при сжатии. Данная особенность сильно ограничивает разработку и применение тросовых параллельных роботов и требует ее учета при разработке новых ТПР.

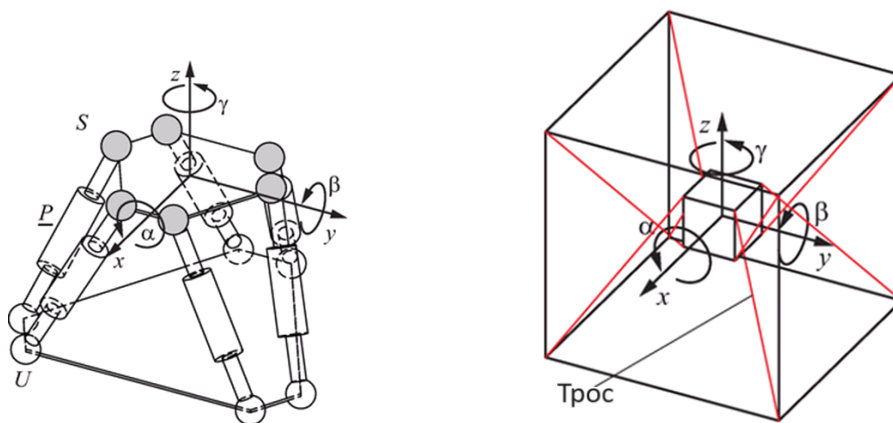


Рисунок 1. Роботы параллельной структуры: а) параллельный робот Стюарта; б) тросовый параллельный робот

ТПР подразделяются на два вида – подвесные и не подвесные, в зависимости от расположения тросов. Если в ТПР все приводные тросы находятся над рабочим органом (РО), а сила тяжести действует как виртуальный трос для поддержания равновесия, то такой ТПР называется подвесным [1-4]. В случае, если в ТПР хотя бы один приводной трос находится ниже рабочего органа РО, то такой ТПР называется не подвесным [5-8].

Особый интерес представляют подвесные точечные ТПР [9]. Подвесные точечные ТПР представляют собой особую группу подвесных ТПР, в которых все тросы прикреплены к одной точке на РО и могут изменять длину для контроля положения РО. Здесь РО моделируется как сосредоточенная масса, расположенная в точке пересечения тросов. Подвесные точечные ТПР хорошо подходят для выполнения операций, аналогичных операциям строительных кранов при подъеме и перемещении грузов. Однако робот с тросовым приводом имеет значительно меньшее колебание полезной нагрузки, чем кран, при выполнении той же операции из-за своей параллельной конструкции.

Подвесной точечный ТПР с 3 степенями свободы и четырьмя приводными тросами показан на рисунке 2 [9]. Конфигурация подвешенного точечного ТПР требует учитывать гравитацию для поддержания равновесия. РО рассматривается как точечная масса, поскольку его размер можно считать незначительным по сравнению с размерами рабочей зоной.

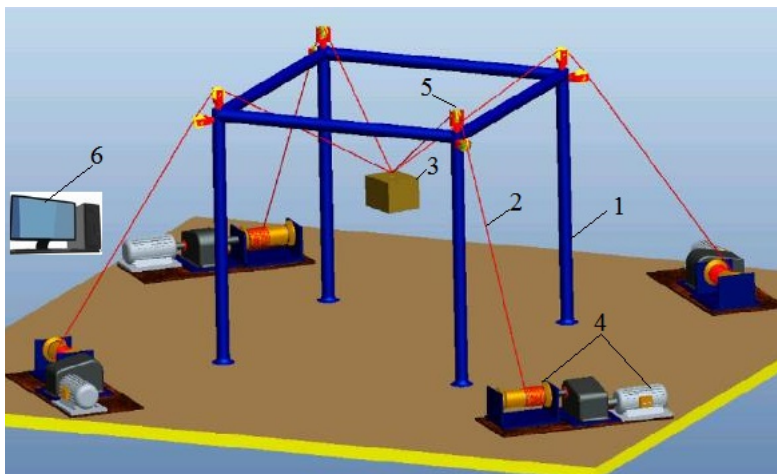


Рисунок 2. Подвешенной точечный ТПР

Все приводные тросы подвешенного ТПР находятся над ЕЕ (рисунок 2). Как видно из рисунка 2, подвешенной точечный ТПР состоит из металлической рамы в форме прямоугольного параллелепипеда 1, возле основания каждой вертикальной стойки размещены лебедки с серводвигателями 4, предназначенные для намотки (или смотки) тросов 2. Другие концы тросов 2, проходящие через шкивы 5, соединяются с РО 3. Направление вращения, а также скорость вращения лебедок с серводвигателями 4 задается блоком управления 6. Таким образом, меняя длины тросов 2 путем их намотки (смотки) на барабаны 4 изменяется положение РО 3 в пространстве рабочей зоны ТПР, которая ограничена рамой 1. В конструкции подвешенного точечного ТПР, показанной на рисунке 4, РО обладает тремя поступательными степенями свободы.

Примерами подвешенных точечных ТПР являются известные роботы ТПР ТПР ROBOCRANE [2], CableV [10], ТПР CoGiRo [11], ТПР FAST, [12]. Расположение тросов подвешенного ТПР исключает взаимодействия тросов друг с другом и окружающими предметами. В связи с тем, что тросы находятся над РО, нагрузка распределяется между тросами [13,14]. Это повышает грузоподъемность подвешенного точечного ТПР и увеличивает рабочую зону. Подвешенной точечный ТПР достаточно просто собрать и разобрать, он имеет высокую мобильность, модульность и реконфигурируемость. Недостатком подвешенного точечного ТПР является низкая жесткость в вертикальном направлении, что может привести к колебания РО вследствие воздействия внешних сил. В этой статье проводятся экспериментальные исследования подвешенного точечного ТПР.

Методология

Для сборки прототипа подвешенного точечного ТПР была разработана конфигурация его системы, которая показана на рисунке 3. Приводятся следующие исходные данные: размеры рамы $a = 1485$ мм, $b = 1230$ мм и $h = 1565$ мм. Масса РО $m = 1,0$ кг. Тросы марки Dунеема, LIROS D-Pro 01505-0200, диаметр 2 мм, площадь поперечного сечения $A = 3,14$ мм², масса на единицу длины $\rho = 0,18 \cdot 10^{-2}$ кг/м, радиус шкива лебедочных барабанов $R = 40$ мм.

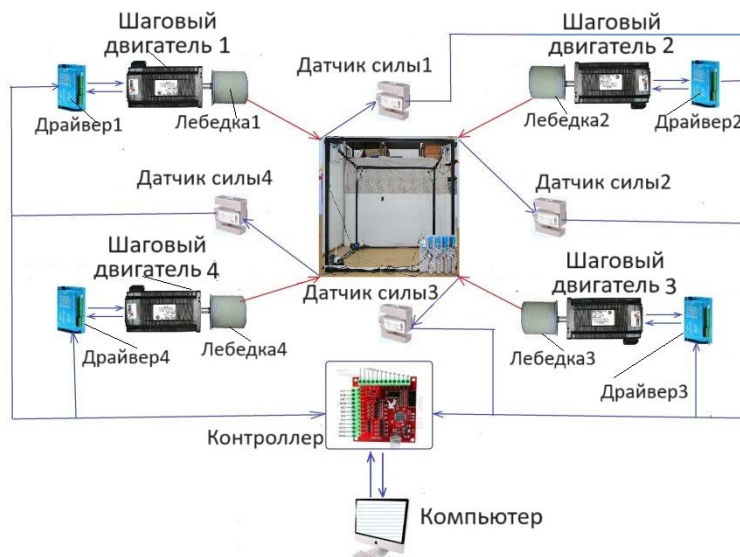


Рисунок 3. Конфигурация системы прототипа подвешенного точечного ТПР

Тросовый привод точечного ТПР (рисунок 3) состоит из четырех лебедок с барабанами, установленных на валу с двумя подшипниками на обоих концах. Лебедки соединены с четырьмя гибридными шаговыми двигателями Nema34 - 86HB250-156 с драйверами HBS86H. Драйверы HBS86H подключены к контроллеру гибридного шагового двигателя Mach 3. Контроллер поддерживает 4-осевое управление, алгоритм интерполяции с минимальной погрешностью, высокую точность обработки. Используя контроллер Mach 3, CDPР управляется компьютером через USB-порт. Натяжения в тросах точечного ТПР определяются с помощью четырех датчиков сил. По разработанной конфигурации системы прототипа подвешенного точечного ТПР (рисунок 3) был изготовлен ее прототип (рисунок 4).

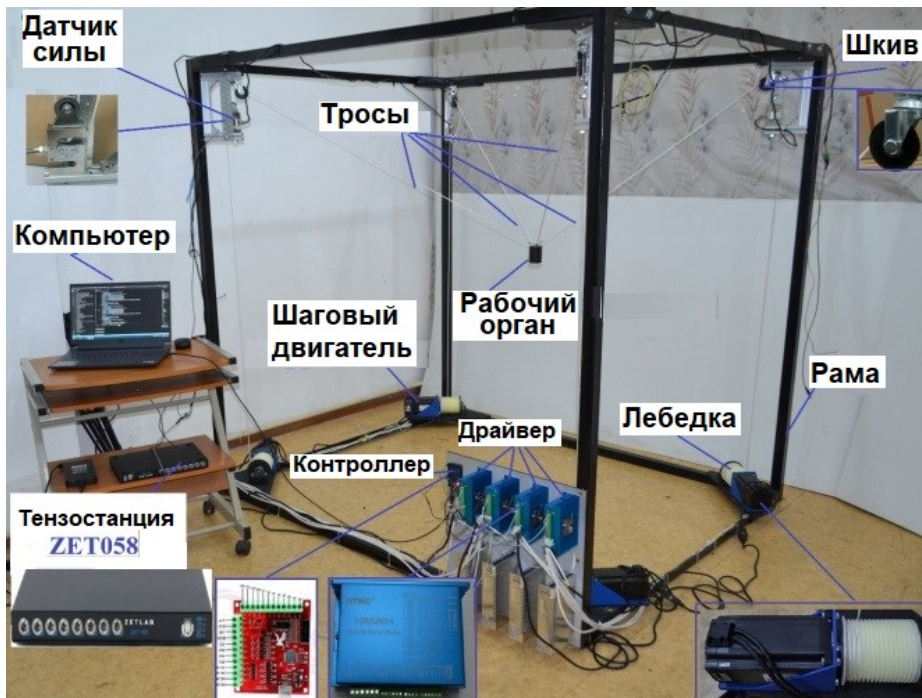


Рисунок 4 – Прототип подвешенного точечного ТПР

На рисунке 5 показан интерфейс программы для управления подвешенным точечным ТПР.

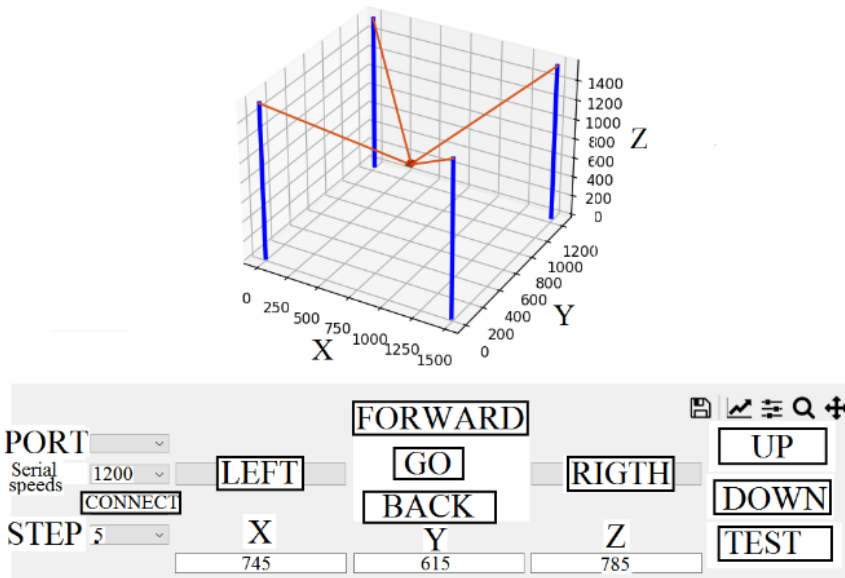


Рисунок 5. Интерфейс программы для управления подвешенным точечным ТПР

В соответствии с интерфейсом управления подвешенного точечного ТПР можно вручную управлять движением РО ТПР. Здесь можно выполнять движения РО ТПР: вперед-назад,

влево-вправо, вверх-вниз. Кроме того, можно воспроизвести траектории движений РО ТПР, заданные уравнениями кривой, например, окружность, эллипс и т.д.

Для определения натяжений в тросах подвешенного точечного ТПР, четыре датчика сил подключены к тензометрической измерительной системе ZET 058 [15], показанной на рисунке 6, которая вместе с программным обеспечением ZETLAB TENZO позволяет собирать информацию с датчиков сил в режиме реального времени по четырем каналам одновременно.

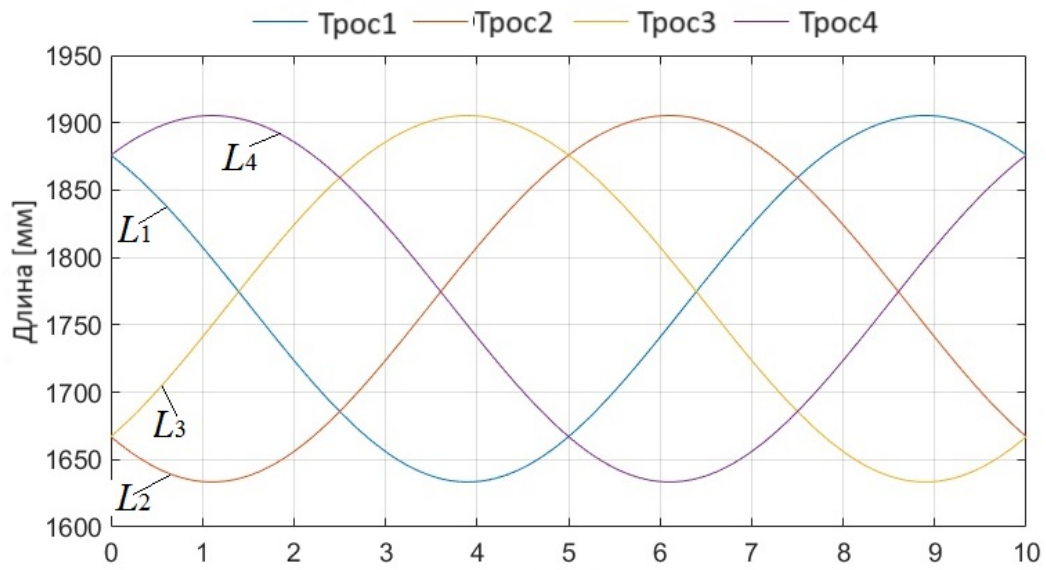


Рисунок 6. Тензометрическая измерительная система ZET 058

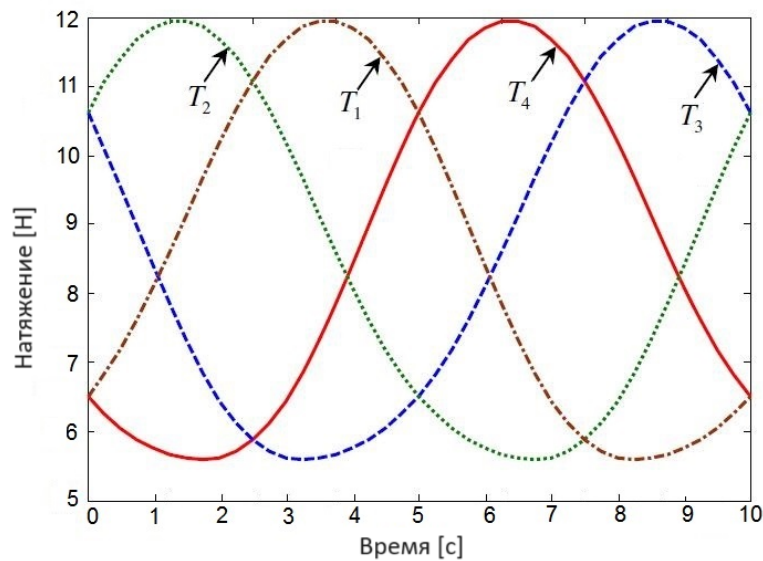
Проведены испытания прототипа подвешенного точечного ТПР, при движении РО по окружности с радиусом $r = 250$ мм, уравнение которой имеет вид'

$$\begin{cases} x = 250 \cos 0.2\pi t, \\ y = 250 \sin 0.2\pi t, \\ z = 90 \\ 0 \leq t \leq 10. \end{cases} \quad (1)$$

На рисунке 7 а,б показаны теоретические графики изменения длин тросов и их натяжений, при движении РО массой 1 кг по траектории, описанной уравнением (1).



а)



б)

Рисунок 7. Графики: а) изменения длины тросов, б) натяжения в тросах

Для проверки воспроизведения траектории круга к РО был прикреплены различные цветные маркеры. Всего было проведено три испытания. На рисунке 8 три цвета (красная, зеленая и черная пунктирные линии) показывают траектории круга, нарисованного РО, а идеальный круг показан синим.



Рисунок 8. Траектории РО – красная, зеленая и черная; идеальная траектория показана синим цветом

Определим максимальные отклонения радиусов окружностей от радиуса идеальной окружности по формуле:

$$\Delta r_i^{max} = |r - r_i^{max}|$$

Из рисунка 8 было определено, что

$$\Delta r_1^{max} = 27 \text{ mm}, \Delta r_2^{max} = 21 \text{ mm}, \Delta r_3^{max} = 17 \text{ mm},$$

Для оценки работы РО прототипа подвешного точечного ТПР определяем степень повторяемости траекторий. Определяем среднее значение максимальных отклонений радиусов окружностей от радиуса идеальной окружности по формуле:

$$\Delta r_{av}^{max} = \frac{1}{3} \sum_{i=1}^3 \Delta r_i^{max} = 21,67 \text{ mm},$$

Среднее значение максимальных отклонений радиусов окружностей от радиуса идеальной окружности составляет 8,7% от длины радиуса идеальной окружности, что указывает на недостаточную точность воспроизведения круговой траектории РО.

Были проведены экспериментальные исследования по определению натяжений в тросах с помощью датчиков сил, подключенных к измерительной тензометрической системе ZET 058. Экспериментальные графики натяжений тросов прототипа подвешного точечного ТПР показаны на рисунке 9.

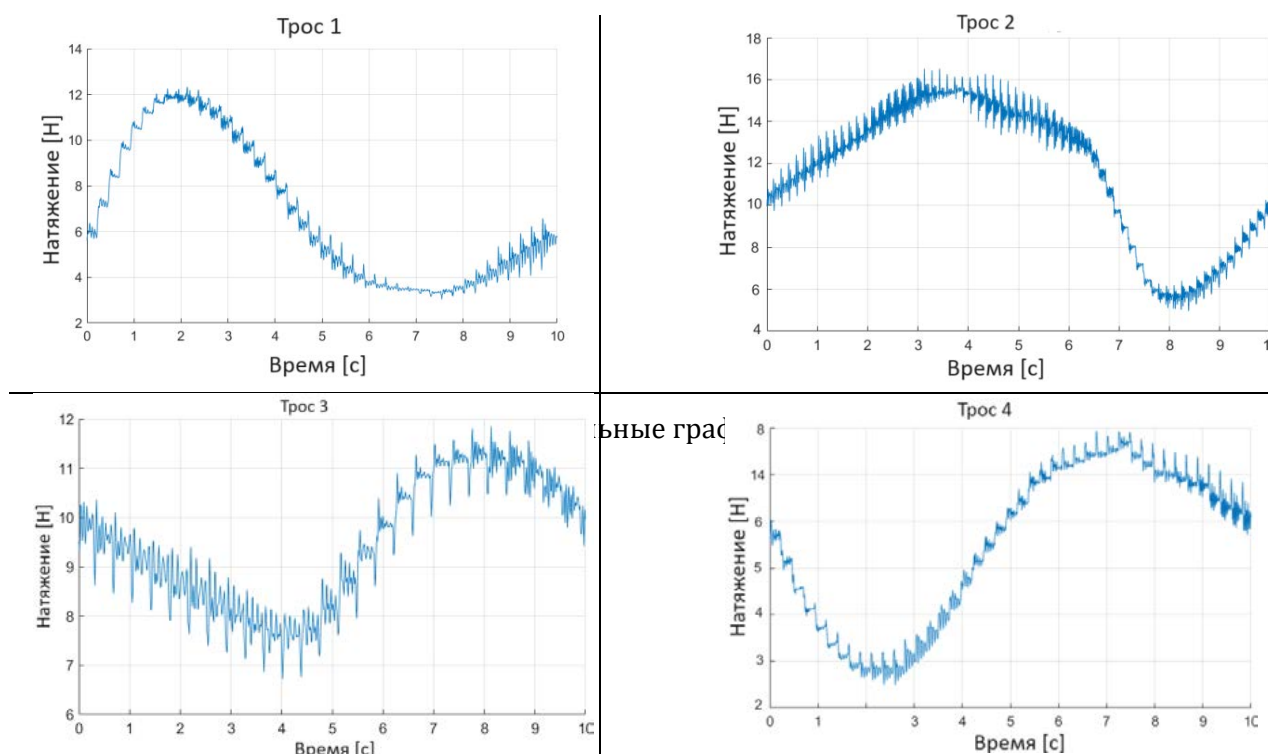


Рисунок 10. Графики натяжения тросов, полученные из четырех каналов

Экспериментальные графики натяжения тросов выводятся на экран компьютера по четырем каналам тензометрической измерительной системы ZET 058 (рисунок 10) в режиме реального времени. Эта информация очень полезна при проведении эксперимента для оценки натяжений тросов в режиме реального времени.

Результаты и Обсуждение

В результате экспериментального исследования прототипа подвешенного точечного ТПР получена оценка работы РО как степень повторяемости траекторий. Определено среднее значение максимальных отклонений радиусов окружностей от радиуса идеальной окружности. Среднее значение максимальных отклонений радиусов окружностей от радиуса идеальной окружности составляет 8,7% от длины радиуса идеальной окружности, что указывает на недостаточную точность воспроизведения круговой траектории РО. Определены натяжения тросов прототипа подвешенного точечного ТПР. Из анализа графиков натяжения тросов прототипа подвешенного точечного ТПР при круговой траектории движения его РО установлены колебания натяжений тросов (рисунок 9) от теоретических натяжений (рисунок 7), что влияет на точность работы ТПР. Для устранения колебаний натяжений тросов необходимо внести изменения в систему управления прототипа подвешенного точечного ТПР с целью постоянного контроля натяжений тросов.

Заключение

В данной статье были проведены экспериментальные исследования подвешенного точечного ТПР. Спроектирован и изготовлен прототип подвешенного точечного ТПР с интерфейсом управления. Для определения натяжений в тросах подвешенного точечного ТПР применялись четыре датчика сил, подключенных к тензометрической измерительной системе ZET 058. Тензометрическая измерительная система ZET 058 на основе программного обеспечения ZETLAB TENZO позволяет собирать информацию с датчиков сил в режиме реального времени по четырем каналам одновременно. Проведены экспериментальные исследования прототипа подвешенного точечного ТПР. Проверка работы прототипа подвешенного точечного ТПР проводилась путем вычерчивания траектории окружности рабочим органом при фиксированной высоте в плоскости x-y. При этом было установлено, что отклонение траектории от идеальной окружности происходит в результате колебаний натяжения в тросах. Получены экспериментальные графики натяжений в тросах. Анализ графиков натяжения тросов прототипа подвешенного точечного ТПР показал наличие колебаний натяжений тросов, которое влияет на точность работы ТПР. Для устранения колебаний натяжений тросов необходимо проводить контроль натяжений тросов за счет системы управления прототипа подвешенного точечного ТПР.

Благодарность

Работа выполнена в рамках гранта на проведение фундаментальных исследований ИММаш им. У.А.Джолдасбекова BR20280990.

Список литературы

1. Pott A. Cable-Driven Parallel Robots. Theory and Application. - Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018. - 465 p.
2. James A., Roger B., Nicholas D. The NIST robocrane // Journal of Robotic Systems. -1993. - № 10. - P. 1709-724.
3. Tanaka M., Seguchi Y., Shimada S. Kineto-statics of skycam-type wire transport system // Proceedings of USA-Japan Symposium on Flexible Automation, Crossing Bridges: Advances in Flexible Automation and Robotics. - 1988. - P. 689-694.
4. Kirchgessner N. et al. The ETH field phenotyping platform FIP: a cable-suspended multisensory system // Funct. Plant Biol. - 2017. - № 1(44). - P. 154-168, DOI: <https://doi.org/10.1071/FP16165>
5. Radojicic J., Surdilovic D., Krüger J. Application challenges of large-scale wire robots in agricultural plants // IFAC Proceedings Volumes. - 2013. - № 4(46). - P. 77-82.
6. Pinto A.M., Moreira E., Lima J., et al. A cable-driven robot for architectural constructions: a visual-guided approach for motion control and path planning. Autonomous Robots. - 2017. №41(7). P. 1487-1499, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10514-016-9609-6>
7. Oh S.R., Agrawal S.K. Cable suspended planar robots with redundant cables: controllers with positive tensions // IEEE Transactions on Robotics. - 2005. - № 3. - P. 457-465, DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2004.838029>

8. Zi B., Qian S. Design, analysis and control of cable-suspended parallel robots and its applications. - Singapore: Springer Singapore, 2017.
9. Boschetti G., Minto R., Trevisani A. Improving a Cable Robot Recovery Strategy by Actuator Dynamics // Appl. Sci. – 2020. - №10(20). – P. 7362, DOI: <https://doi.org/10.3390/app10207362>
10. Heyden T., Woernle C. A Dynamics and flatness-based control of a kinematically undetermined cable suspension manipulator // Multibody System Dynamics. – 2006. №16(2). - P. 155-177, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11044-006-9023-5>
11. Lamaury J., Gouttefarde M. A Control of a large redundantly actuated cable-suspended parallel robot. // Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference. – 2013. P. 4659-4664.
12. Rendong Nan. A Five hundred meter aperture spherical radio telescope (FAST) // Science in China: Series G Physics, Mechanics & Astronomy. – 2006. - № 2 (49). 129—148, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11433-006-0129-9>
13. Zhang N., Shang W., Cong S. Geometry-based trajectory planning of a 3-3 cable-suspended parallel robot // IEEE Trans. Robot. – 2016. -№ 33. – P. 484–491, DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2016.2631591>
14. Zhang, N.; Shang,W.; Cong, S. Dynamic trajectory planning for a spatial 3-DoF cable-suspended parallel robot // Mech. Mach. Theory. – 2018. -№122. - P. 177–196, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2017.12.023>
15. ZETLAB Company. Available online: www.zetlab.com (Accessed on 2 May, 2024).

А.А. Джомартов*

Ө.А.Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институты, Алматы, Қазақстан

*E-mail: *legsert@mail.ru*

Асылған нүктегі сымарканды параллельді роботты эксперименттік зерттеу

Аңдатпа. Басқару интерфейсі және үш трансляциялық еркіндік дәрежесі бар аспалы нүктелік сымарканды параллельді роботтың прототипі әзірленді және жасалды. Нүктелік сымарканды параллельді роботтың прототипі тікбұрышты параллелепипед пішініндегі металл жақтаудан тұрады, сервоқозғалтқыштары бар лебедкалар сымарканды орау (немесе орау) үшін арналған әрбір тік посттың негізіне жақын орналасқан; Шкивтер арқылы өтетін сымарканды басқа ұштары жұмыс органына қосылады. Айналу бағыты, сондай-ақ сервомоторлары бар лебедкалардың айналу жылдамдығы үш трансляциялық еркіндік дәрежесі бар басқару блогымен белгіленеді. Аспалы нүктелік сымарканды параллельді роботтың сымарканды кернеуді анықтау үшін төрт күш датчигі пайдаланылды. Күш датчиктері ZETLAB TENZO бағдарламалық құралымен бірге бір уақытта төрт арна арқылы нақты уақыт режимінде ақпаратты жинауға мүмкіндік беретін ZET 058 тензометрді өлшеу жүйесіне қосылған. Шеңберлік траекторияны ақырғы эффектормен сызу арқылы ілулі нүктелі сымарканды параллель роботтың прототипінің эксперименталды зерттеулері жүргізілді. Траекторияның идеалды шеңберден ауытқуы сымарканды кернеудің ауытқуы нәтижесінде болатыны анықталды. ZET 058 тензомерді өлшеу жүйесіне қосылған күш датчиктерінің көмегімен сымарканды кернеудің тәжірибелік графиктері алынды, ілулі нүктелік

сымарканды параллельді роботының жұмысының дәлдігін арттыру үшін кернеудің тұрақты бақылауы анықталды. оның сымарканды қажет.

Түйін сөздер: сымарканды параллельді робот, жұмыс элементі, прототип, күш датчигі, кернеу, тензометрді өлшеу жүйесі.

A.A. Jomartov*

Joldasbekov, Institute of Mechanics and Engineering, Almaty, Kazakhstan

E-mail: legsert@mail.ru

Experimental studies of a suspended point cable parallel robot

Abstract. A prototype of a suspended point cable parallel robot with a control interface and three translational degrees of freedom was designed and manufactured. The prototype of a point cable parallel robot consists of a metal frame in the shape of a rectangular parallelepiped; winches with servo motors are located near the base of each vertical post, designed for winding (or unwinding) cables. The other ends of the cables passing through the pulleys are connected to the working body. The direction of rotation, as well as the rotation speed of winches with servomotors, are set by a control unit that has three translational degrees of freedom. Four force sensors were used to determine the tension in the cables of the suspended point cable parallel robot. The force sensors are connected to the ZET 058 strain gauge measuring system, which, together with the ZETLAB TENZO software, allows you to collect information in real time through four channels simultaneously. Experimental studies of a prototype of a suspended point-cable parallel robot were carried out by drawing a circle trajectory with an end-effector. It has been established that the deviation of the trajectory from an ideal circle occurs as a result of tension fluctuations in the cables. Experimental graphs of the tension in the cables were obtained using force sensors connected to the ZET 058 strain gauge measuring system. It was established that in order to increase the accuracy of the operation of the suspended point cable parallel robot, constant monitoring of the tension of its cables is necessary.

Keywords: cable parallel robot, end-effector, prototype, force sensor, tension, strain gauge measuring system.

References

1. Pott A. Cable-Driven Parallel Robots. Theory and Application. - Springer International Publishing AG, part of Springer Nature, 2018. - 465 p.
2. James A., Roger B., Nicholas D. The NIST robocrane // Journal of Robotic Systems. -1993. - № 10. - P. 1709-724.
3. Tanaka M., Seguchi Y., Shimada S. Kineto-statics of skycam-type wire transport system // Proceedings of USA-Japan Symposium on Flexible Automation, Crossing Bridges: Advances in Flexible Automation and Robotics. - 1988. - P. 689-694.
4. Kirchgessner N. et al. The ETH field phenotyping platform FIP: a cable-suspended multisensory system // Funct. Plant Biol. - 2017. - № 1(44). - P. 154-168, DOI: <https://doi.org/10.1071/FP16165>

5. Radojicic J., Surdilovic D., Krüger J. Application challenges of large-scale wire robots in agricultural plants // IFAC Proceedings Volumes. - 2013. - № 4(46). - P. 77-82.
6. Pinto A.M., Moreira E., Lima J., et al. A cable-driven robot for architectural constructions: a visual-guided approach for motion control and path planning. Autonomous Robots. – 2017. №41(7). P. 1487-1499, DOI: <https://doi.org/10.1007/s10514-016-9609-6>
7. Oh S.R., Agrawal S.K. Cable suspended planar robots with redundant cables: controllers with positive tensions // IEEE Transactions on Robotics. – 2005. - № 3. - P. 457-465, DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2004.838029>
8. Zi B., Qian S. Design, analysis and control of cable-suspended parallel robots and its applications. - Singapore: Springer Singapore, 2017.
9. Boschetti G., Minto R., Trevisani A. Improving a Cable Robot Recovery Strategy by Actuator Dynamics // Appl. Sci. – 2020. - №10(20). – P. 7362, DOI: <https://doi.org/10.3390/app10207362>
10. Heyden T., Woernle C. A Dynamics and flatness-based control of a kinematically undetermined cable suspension manipulator // Multibody System Dynamics. – 2006. №16(2). - P. 155-177, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11044-006-9023-5>
11. Lamaury J., Gouttefarde M. A Control of a large redundantly actuated cable-suspended parallel robot. // Robotics and Automation (ICRA), IEEE International Conference. – 2013. P. 4659-4664.
12. Rendong Nan. A Five hundred meter aperture spherical radio telescope (FAST) // Science in China: Series G Physics, Mechanics & Astronomy. – 2006. - № 2 (49). 129—148, DOI: <https://doi.org/10.1007/s11433-006-0129-9>
13. Zhang N., Shang W., Cong S. Geometry-based trajectory planning of a 3-3 cable-suspended parallel robot // IEEE Trans. Robot. – 2016. -№ 33. – P. 484–491, DOI: <https://doi.org/10.1109/TRO.2016.2631591>
14. Zhang, N.; Shang,W.; Cong, S. Dynamic trajectory planning for a spatial 3-DoF cable-suspended parallel robot // Mech. Mach. Theory. – 2018. -№122. - P. 177–196, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.mechmachtheory.2017.12.023>
15. ZETLAB Company. Available online: www.zetlab.com (Accessed on 2 May, 2024).

Сведения об авторе:

Джомартов Асылбек Абдразакович – автор для корреспонденции, член-корр. НИА РК, доктор технических наук, руководитель отдела ОЭРК Института механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова, ул. Курмангазы, 29, 050010, г. Алматы. Казахстан.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



IRSTI 67.09.55:

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-154-166>

Article

Investigations of the influence of organic aggregate on physical mechanical and adhesion properties of sulfur-containing arbolite

B.R. Isakulov*¹, Z.B. Tukashev², H.T. Abdullaev², A.B. Isakulov³

¹Baishev University,

²Aktobe University named after K. Zhubanov,

³L.N.Gumilyov Eurasian National University

(E-mail: *mr.baizak@mail.ru)

Abstract. The main issue of this study is to investigate the effect of the porous structure of organic aggregate on cement stone and on the nature of the contact zone. As it is known, porous aggregate draws away some of the moisture from the adjacent cement stone layers, which promotes their compaction. In turn, the contact layers of the sulfur-containing binder also undergo changes. Also in the work, sulfur and its derivatives are used as an additive for chemical treatment. It is known that sulfur itself is a strong reducing agent, so it can affect the morphology and chemical composition of the surface of the organic aggregate of sulfur-containing arbolites. It was found that the highest index of efficiency coefficient equal to 1.02 and 1.01 have samples of sulfur-containing arbolite based on shredded cane and cotton stalks. The study of the structure of contact zones of sulfur-containing binder with shredded mercerized cane on samples from the binder dough with inclusion of shredded cane fiber showed that it has a dense and strong binder shell with a width of 35-60 μm . The results confirm that mercerization of cellulosic organic aggregates of sulfur-containing arbolites increases its adhesion ability. The obtained results of the study can be used for the manufacture of wall materials for low-rise construction.

Keywords: Sulfur-containing arbolite, contact zone, efficiency factor, sulfur, microhardness of organic aggregate, mercerization, compressive strength.

Received 15.05.2024 Revised 03.09.2024. Accepted 09.09.2024. Available online 30.09.2024

¹*the corresponding author

Introduction

In recent years, the attention of many scientists of the Central Asian republics has been attracted to the issues of obtaining structural materials based on organomineral compositions, as components of which are used combined mineral binder and cellulose organic aggregate [1-15]. From the basic provisions of the theory of artificial conglomerates [1-7], which establishes the relationship between the components in concretes of optimal structure, it follows that the binder, organic aggregate and the contact zone between them should have a decisive influence on the strength of sulfur-containing concretes. At the same time, optimization of the structure of sulfur-containing arbolite can be achieved through a more complete use of the properties of organic aggregates and their involvement in the "work" of the whole arbolite concrete. The role of aggregates of different mineralogical composition in the formation of concrete structure has been studied in [3-10]. To study the adhesion of different types of organic aggregates with the mortar part of sulfur-containing arbolite and their influence on its strength properties, we used stalks of cane, rice straw and cotton, which were crushed to the same fraction and introduced into the composition of sulfur-containing binder. Evaluation of the processes occurring in the contact zone of the mortar part of sulfur-containing arbolite with organic aggregate was the cohesive force [1-15]. It is known that sulfur itself is a strong reducing agent, so it can affect the morphology and chemical composition of the surface of the organic aggregate of sulfur-containing arbolites. Thus, Japanese researchers applied sulfur in the presence of sulfur-containing bacteria for the reduction of hexavalent chromium [6, 7]. The bacteria oxidized elemental sulfur to SO₂. H₂SO₃ was formed as an intermediate compound. Treatment with alkaline sulfur-containing solution (mercerization) of cellulose consists in treating it with alkali solutions, as a result of which it acquires additional (OH-) groups, which in turn gives it increased sorption capacity to ions of multivalent elements.

The methodology

Cellulose organic aggregates from vegetation and agro-industrial wastes according to GOST 19222 were used as initial porous aggregates for obtaining sulfur-containing arbolites. The physical and chemical properties of reed, its chemical and fractional composition (Tables 1, 2) were established experimentally in accordance with the requirements of GOST 19222, GOST 25820-2000, as well as on the basis of reference and literature data [1-10].

Cellulose C ₆ H ₁₀ O ₅	Lignin C ₄₁ H ₄₀ O ₁₅	Pentosan C ₅ H ₈ O ₄	Resins and soluble components
46,17	29,76	22,00	2,07

Bulk density of reed stalks with natural moisture content is 70 kg/m³, and dried to constant weight - 58 kg/m³. The fractional composition of reed stalks is given in Table 2.

Table 2. Fractional composition of reed stalks in % by weight

Residuals	Sieve mesh size, mm						Passed a sieve with a 1.25 mm opening
	40	20	10	5	2.5	1.25	
Private	10	15	47	17	9,5	1,5	1,5
Full	10	25	72	86	95,6	98,5	100

As fillers and additives for the manufacture of arbolite were used industrial waste from enterprises of Kazakhstan in the form of sludge and solids [3-12]. As a modifying additive was considered technical sulfur - a secondary product of processing of high-sulfur oil from the fields of the Republic of Kazakhstan and pyrite cinders of the enterprise JSC "Phosphorhim", consisting mainly of a mixture of iron oxides, with a recalculation of the iron content of 40 - 63%, and sulfur impurities 1-2%. The rest are oxides of non-ferrous metals. Sulfur is a granulated product that meets the requirements of GOST 127.1-93. Portland cement of 400 grade of Chimkent cement plant in accordance with GOST 10178-85 and GOST 30744-2001 were also used for the study. The compositions of the studied samples are given in Table 3.

Table 3. Compositions of investigated sulfur-containing arbolites

20 № Compositions	Material consumption 1m ³ of arbolite				Density, kg/m ³
	Shredded cane stalks, kg	Technical sulphur, kg	Pyrite cinders, kg	Cement, kg	
1	255	25	80	270	450
2	260	23	82	260	420
3	250	25	80	280	550
4	240	27	78	300	500
5	230	30	75	320	600
6	200	35	70	350	650

Sulfur-containing arbolite samples were produced in the following technological sequence. Shredded cane stalks were subjected to the process of mercerization from 15 min to 24 h or more in contact with sulfur-containing solutions of 5 -15 % alkali, then performed:

- preparation of mercerized cane stalks and sulfur-containing additives by particle size distribution;
- preparation and dosing of each component of sulfur-containing binder separately;
- preparation and mixing of sulfur-containing components with the addition of a certain amount of water;
- loading of crushed cane stalks together with sulphur-containing binder into the drum mill;
- stopping the mill and unloading finished sulphur-containing arbolite mixtures;
- molding of products with compaction of the mixture by press method;

- natural hardening or heat treatment;
- demolding of products.

Optimization of composition, properties and technology of sulfur-containing arbolite was carried out experimentally. The study of properties of organic aggregates was carried out using standard methods according to GOST 19222. Physical and mechanical characteristics of sulfur-containing arbolite were determined in accordance with GOST 19222, 25820-2000, 7076-99, 7473-94, 10060.0-95 and 3476. When studying the bond strength of organic aggregate with the mortar part of sulfur-containing arbolite, we used a set of independent methods that allow us to obtain sufficiently complete and reliable data on the processes occurring at the contact boundary between binder and aggregate. The study of strength and deformation properties of sulfur-containing arbolite was carried out in climatic conditions of Central Asia and after normal curing chambers. Shrinkage strains were measured 28 days after curing in natural conditions. Creep of sulfur-containing arbolite was investigated during long-term loading under different loads on samples – prisms, sizes 150x150x600mm and samples cubes, sizes 100x100x100mm. The study was carried out in 28 days after curing in natural conditions and after heat treatment. Arbolite loading was carried out at loads of 0.3, 0.45, and 0.75 of the prism strength of sulfur-containing arbolite. The properties of thermal conductivity, fire resistance and biostability of sulfur-containing arbolite were studied under a wide variation of factors. The study of thermal conductivity was carried out at the Department of Physics of Aktobe Regional State University together with the Department of Building Materials Science, Special Technologies and Technological Complexes of Ivanovo State Polytechnic University in the natural and dry state or after heat treatment. To study the adhesion of different types of organic aggregates with the mortar part of sulfur-containing arbolite and their influence on its strength properties, we used cane stalks, rice straw and cotton stalks chopped to the same fraction, which were introduced into the composition of sulfur-containing binder. Evaluation of the processes occurring in the contact zone of the mortar part of sulfur-containing arbolite with organic aggregate was the cohesive force. To characterize the magnitude of the cohesive force of organic aggregates with sulfur-containing mortar part, as well as its influence on the strength of sulfur-containing arbolite concrete, the coefficient of efficiency of the aggregate in arbolite (α) was chosen, which was calculated from the results of determining the tensile strength. It is known [5-7] that the bonding force is determined by the chemical interaction processes occurring in the contact zones, so it is obvious that the efficiency factor α will change when the aggregate surface is isolated from the mortar part of the concrete. The coefficient φ is taken as a value characterizing the influence of chemical interaction on the bonding force in the investigated concretes, indicating how many times the efficiency factor of the aggregate in concrete will decrease when the chemical interaction in the contact is eliminated:

$$\varphi = \frac{\alpha_{\text{uninsulated}}}{\alpha_{\text{isolated}}},$$

where, $\alpha_{\text{uninsulated}}$, α_{isolated} – efficiency coefficients of uninsulated and insulated organic aggregates in arbolite concrete.

To evaluate the micromechanical properties of the contact layers of sulfur-containing cement stone and organic aggregate, the method of microhardness determination was used. The tests were carried out on polished slits of 30x30x30 mm cube specimens made of sulfur-containing cement dough, in the middle of which a fiber of crushed reed was placed. Since the main changes in the structure of contact layers of sulfur-containing cement stone are related to moisture migration in the organic aggregate, the dependence of microhardness change of sulfur-containing cement stone on the initial mortar with different ratio of components at 3 and 28 days of age was established. Together with measurements of microhardness, tests of compressive strength of specimens were carried out.

To investigate the change in the properties of cellulose fibers of organic aggregates, the crushed fibers of cotton stalks were subjected to chemical treatment with sulfur alkali solutions and its derivatives. The concentration of alkali in the sulfur solution ranged from 5 to 7%. The effect of mercerized cellulose on the strength properties of sulfur-containing arbolite was evaluated on 10x10x10cm arbolite cubes of density 550-600 kg/m³. Cane stalks and rice husk were used to determine the effect of different mercerization on the properties of organic aggregates.

It was found that the porous aggregate draws some moisture from the adjacent layers of cement stone, which promotes their compaction. In turn, the contact layers of sulfur-containing binder also undergo changes. The studies have shown that the use of all organic aggregates under study is effective - in all cases $\alpha > 1$. The samples with organic aggregate based on rice straw have a lower coefficient (Table 4). It was found that the highest coefficient of efficiency equal to 1.02 and 1.01 have samples of sulfur-containing arbolite based on shredded cane and cotton stalks (Table 4). Intensive chemical interaction with the mortar part of sulfur-containing arbolite is observed on organic aggregates from shredded cane and cotton stalks, for which the efficiency coefficient φ is in the range of 2.1-2.3. When excluding the chemical interaction with the mortar part of rice straw arbolite, the efficiency coefficient decreases 2 times, which can be explained by their structural features.

Table 4. Efficiency coefficient of different organic aggregates in sulfur-containing arbolite

Type aggregate	Tensile strength tensile strength, MPa			Coefficient efficiency of aggregate in arbolite	φ
	Arbolite	Organic aggregate	Sulphur stone binder		
Shredded cane stalks 18 mm fraction	3,34	1,24	4,7	1,02	2,6
Chopped rice straw stalks 18 mm fraction	1,27	0,89	4,7	0,85	2,1
Shredded cotton stalks 18 mm fraction	2,73	1,22	4,7	1,01	2,3

It is established that high microhardness in the contact layer of the binder stone and aggregate decreases as it moves away from the contact line. The study of the structure of contact zones of sulfur-containing binder stone with shredded mercerized reed on samples from binder dough with inclusion of shredded reed fiber showed that it has a dense and strong binder shell with a width of 35-60 microns.

So the microhardness of the contact layer of the sulfur-containing binder stone with shredded reed is equal to 1550 MPa, which is about 15% higher than the microhardness of the binder stone in the intergranular space. Due to the high porosity of the organic aggregate, the binder penetrates into the depth of the cellulose organic aggregate grain 105 - 135 microns. The porous shell of shredded cane due to the effect of self-vacuuming promotes the involvement of sulfur-containing binder inside the organic filler dough, which, interacting with the surface of the pore walls of the filler, activates them, while the sulfur-containing dough tightly adheres to the surface of cane particles. The contact zone between the sulfur-containing binder and the crushed reed is characterized by a dense structure, its width is 105-135 microns.

Microhardness and adhesion strength of organic aggregates in arbolite concretes are also determined by the nature of new formations arising in the contact zones as a result of physical and mechanical processes of interaction between the aggregate and components of sulfur-containing binder. Studies have shown that mercerized cane stalks have less effect on the setting time and strength gain of arbolite compared to untreated samples.

Apparently, water-soluble sugars, organic acids and mineral salts are leached from the cane stalks during such treatment. Therefore, in the process of making arbolite mercerization can replace the operation of preliminary soaking of cane in solutions of chemical additives. Determination of the compressive strength of sulfur-containing arbolites using rice husk, mercerized and unmercerized cane showed that intensive strength growth is observed in the first 14 days in all arbolites, further strength growth slows down (Fig.).

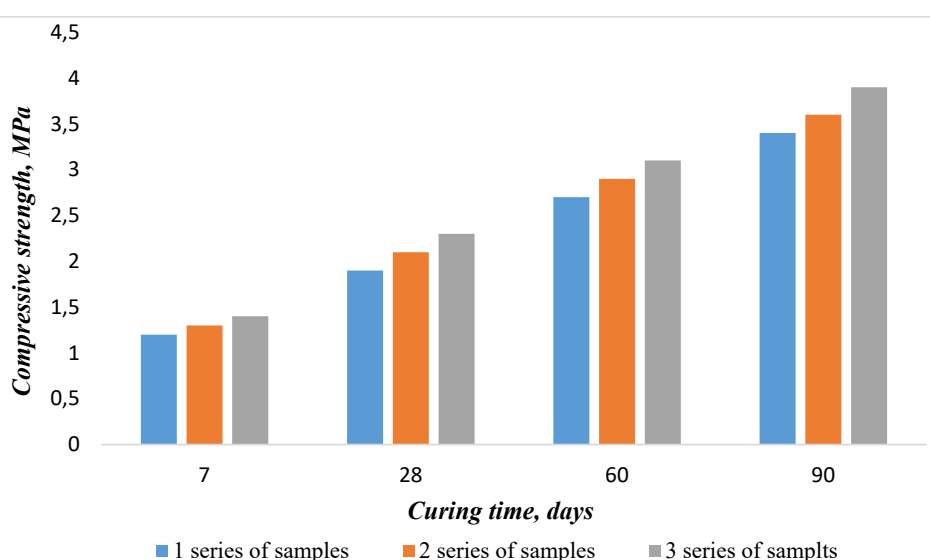


Figure 1. Compressive strength of sulphur-containing arbolite in depending on curing time and different organic aggregates:

1 - rice husk; 2 - untreated cane; 3 - mercerized cane

The highest compressive strength after 28 days of curing is observed for samples based on mercerized cane stalks. Growth of strength of samples based on rice husk by 14 days is 2.1 MPa, on the basis of crushed cane stalks without treatment is 2.5 MPa and for samples based on mercerized cane stalks is 2.7 MPa. By 28 days, the strength growth of rice husk based samples is 3.0 MPa, based on crushed cane stalks without treatment is 3.5 MPa and for samples based on mercerized cane stalks is 4.0 MPa (Fig.). The results of the study, compositions and properties of the sulfur-containing arbolite are summarized in Table 5.

The obtained results confirm that mercerization of cellulose organic aggregates of sulfur-containing arbolites increases its adhesion ability.

Table 5. Compositions and properties of sulfur-containing arbolite based on mercerized reed stalks

Components of arbolite mixture	Units of measurement	Strength class arbolite	
		B 2,5	B 3,5
Cement	%	35	36
Mercerized cane stalks	%	20	21
Water per 1m ³ of mixture with dry organic aggregates	%	30	31
Industrial sulphur	%	3,2	3,6
Pyrite cinders	%	6,9	7,2
Mineralizers - calcium chloride; - barium chloride	%	0,4 1,4	0,5 1,6
Density	kg/m ³	550-590	590-650
Compressive strength	MPa	3,1	4,5
Water absorption	%	67	45
Frost resistance	cycle	50	75
Heat transfer coefficient	W/m*K	0,100	3,2

Findings/Discussion

The results of the study showed that mercerized cane stalks have less effect on the setting time and strength gain of arbolite compared to untreated samples. Apparently, water-soluble sugars, organic acids and mineral salts are leached from the cane stalks during such treatment. Therefore, in the process of arbolite production mercerization can replace the operation of preliminary soaking of cane in solutions of chemical additives. The increase in strength of sulfur-containing arbolite samples on mercerized cane can be explained by the fact that in addition to "tanning" of cane stalks there is also etching of its surface, nano-, micro- and macropores are formed in the material. Pores absorb sulfur from sulfur-containing compositions, which binds molecules on the surface of different phases during the subsequent hardening of the arbolite mixture.

The obtained results give grounds to assert that in the loaded state the mercerized organic aggregate has a high resistance to loads, hardens and can absorb even higher loads than in the unloaded state. Apparently, the formation of nano- and microstructure and strengthening of mercerized organic aggregate occurs due to the emergence of a kind of "tanning" effect in

the fibers of reed stalk, similar to the effect of tanning leather and changes in the deformation modulus of the components of sulfur-containing arbolite under load. On the other hand, the reason for higher strength of sulfur-containing arbolite is the "colmatization" of nano- and micropores of mercerized cellulose with elementary sulfur from sulfur-containing composition of arbolite, which hardening causes an increase in the strength of the resulting product.

Conclusions

1. It was found that the highest index of efficiency coefficient equal to 1.02 and 1.01 have samples of sulfur-containing arbolite on the basis of shredded reed and cotton stalks.

2. study of the structure of contact zones of sulfur-containing binder with shredded mercerized cane on samples of binder dough with inclusion of shredded cane fiber showed that it has a dense and strong binder shell with a width of 35-60 microns.

3. The results confirm that mercerization of cellulosic organic aggregates of sulfur-containing arbolites increases its adhesion ability.

4. The obtained results of the study can be used for the manufacture of wall materials for low-rise construction.

The contribution of the authors

Isakulov B.R. – concept, methodology, resources, data collection, testing of experimental samples;

Tukashev J.B. – modeling, analysis;

Abdullaev H.T. – visualization, interpretation, writing;

Isakulov A.B. – editing.

References

1. Kulsharov, B., Isakulov, B., Sokolova, Y., Akulova, M., Sokolova, A. Slag-alkali lightweight concrete with corn waste aggregate. E3S Web of Conferences, 2023, 457, 01003.

2. Isakulov, B., Abdullaev, H., Mukasheva, A., Akishev, U., Ordabayeva, G. Investigation of the formation of microstructure and strength characteristics of slag-alkaline arbolite. Eureka, Physics and Engineering, 2023, 2023(2), pp. 209–221.

3. 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, 2023, 24(105), pp. 11–17.

4. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B., Sokolova, A., Isakulov, A. The Study of the Impact of Iron and Sulfur Containing Additives on the Strength Properties of Sulfur Containing Binders. Solid State Phenomena, 2022, 334, pp. 195–201.

5. Bazhirov N.S., Dauletiyarov M.S., Bazhirov T.S., Serikbayev B.E., Bazhirova K.N. Research of waste of aluminum production as the raw components in technology of composite cementing materials. News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. ISSN 2224-5278. 2018. Vol. 1, N 427. P. 93-98.

6. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B.R., Sokolova, A., Isakulov, A.B. The study of structure formation and mechanical strength properties of sulfur-containing woodcrete composites exposed to permanently acting loads. IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 869 (3), 032005.

7. Sokolova, Y.A., Akulova, M.V., Isakulov, B.R., Kul'sharov, B.B., Isakulov, A.B. The study of creep and deformation properties of sulfur-containing arbolit exposed to various compression stresses. *Key Engineering Materials*, 2021, 899 KEM, pp. 137–143.

8. Sadieva Kh. R., Massalimova B. K., Abisheva R. D., Tsoy I. G., Nurlybayeva A. N., Darmenbayeva A. S., Ybraimzhanova L. K., Bakibaev A. A., Sapi A. K. Preparation of carbon nanocomposites on the basis of silicon-tin containing substances. *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences*. Volume 4, Number 436 (2019), P. 158 – 166. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.110>.

9. Sokolova, YA; Akulova, MV ; Isakulov, BR; Sokolova, AG; Kul'sharov, BB; Isakulov, AB. Detoxication of by-products of oil and gas industry accompanied by obtaining iron and sulfur-containing binders for structural building materials. *News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan-series chemistry and technology*. Volume 6 , pp. 2020 , 65-72 . DOI: 10.32014/2020.2518-1491.99.

10. Sokolova, Y, Akulova, M., Isakulov, B., Zhekeyev, S., Isakulov, A. The Study of Deformation Properties and Creep of Sulfur-containing Wood Concrete Composites. *AIP Conference Proceedings*, 2023, 2497, 020031.

11. Activation of binding polarization as a way to increase the strength of the arbolite // *Reports of the Ministry of Science and higher education*. Akchabaev A.A., Bisenov K.A., Uderbaev S. S. *Almaty: News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan*, 1999. N 4. Page 57-60.

12. Mechanochemical activation and detoxification of industrial waste to obtain binding lightweight concretes. Akulova M.V., Isakulov B.R. *Bulletin VolGASU. Series: construction and architecture*. N 31(50). Part 2. Building sciences. Volgograd, 2013. Page 75-80.

13. Obtaining and research of physical and chemical properties of chelated polymer-containing microfertilizers on the basis of technogenic waste for rice seed biofortification. Beysenbayev O.K., Umirzakov S.I., Tleuov A.S., Smaylov B.M., Issa A.B., Dzhamantikov Kh., Zakirov B.S. *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences*. Volume 1, Number 433 (2019), Page 80–89 <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.10>

14. Research of waste of aluminum production as the raw components in technology of composite cementing materials. Bazhirov N.S., Dauletiyarov M.S., Bazhirov T.S., Serikbayev B.E., Bazhirova K.N. *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences*. ISSN 2224-5278. 2018. Vol. 1, N 427. Page 93-98.

15. Features of testing piles for high-rise buildings in difficult soil conditions in Astana. Mussakhanova, S., Zhussupbekov, A., Omarov, A., Abilmazhenov, T., Issakulov, A. *International Journal of GEOMATE*, 2023, 25(110), Page 106–113.

Б.Р. Исакулов*¹, Ж.Б.Тукашев², Х.Т. Абдуллаев², А.Б. Исакулов³

¹*Баишев университеті,*

²*Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті,*

³*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті*

Күкіртті құрамалы арболиттің физикалық-механикалық және адгезиялық қасиеттеріне органикалық толтырғыштың әсерін зерттеу

Аңдатпа. Бұл зерттеудің негізгі проблемасы органикалық толықтырғыштардың кеуекті құрылымының цемент тасына және байланыс аймағының сипатына әсерін зерттеу болып табылады. Бұрыннан белгілі болғандай, кеуекті толықтырғыштар ылғалдың бір бөлігін цементті

тастың іргелес қабаттарынан тартып алады және бұл құбылыс олардың тығыздалуына ықпал етеді. Өз кезегінде, күкіртті құрамалы тұтқыр байланыстырғыш заттың байланыс қасиеттері де өзгереді. Сондай-ақ, өндірісте күкірт және оның туындылары химиялық өңдеуге қосымша ретінде қолданылады. Күкірттің өзі күшті тотықсыздандырғыш екені белгілі, сондықтан күкіртті құрамалы арболиттердің органикалық толықтырғыштарының морфологиясы мен химиялық құрамына өз әсерін тигізуі мүмкін. Тиімділік коэффициентінің ең үлкен көрсеткіші 1,02 және 1,01-де ұсақталған қамыс пен мақта сабақтарына негізделген күкірт бар арболит үлгілері бар екені анықталды. Құрамында күкірт бар тұтқыр мен ұсақталған мерсерленген қамыстың түйісу аймақтарының құрылымын ұсақталған қамыс талшығының қосылуымен байланыстыратын қамыр үлгілерінде зерттеу оның ені 35-60 мкм тығыз және берік байланыстырушы қабығы бар екенін көрсетті. Нәтижелер целлюлоза-органикалық күкіртті арболиттердің мерсеризациясы олардың адгезия қабілетін арттыратынын растайды. Зерттеу нәтижелері аз қабатты құрылысқа арналған қабырға материалдарын өндіруде қолданылуы мүмкін.

Түйін сөздер: құрамында күкірт бар арболит, байланыс аймағы, тиімділік коэффициенті, күкірт, органикалық агрегаттың микроқаттылығы, мерсеризация, қысу беріктігі.

Б.Р. Исакулов*¹, Ж.Б.Тукашев², Х.Т. Абдуллаев², А.Б. Исакулов³

¹*Баишев университет,*

²*Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова,*

³*Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева*

Исследование влияния органического наполнителя на физико-механические и адгезионные свойства серосодержащего арболита

Аннотация. Основной проблемой данного исследования является изучение влияния пористой структуры органического заполнителя на цементный камень и на характер контактной зоны. Как известно, пористый заполнитель оттягивает часть влаги из прилегающих слоев цементного камня, что способствует их уплотнению. В свою очередь, контактные слои серосодержащего вяжущего также претерпевают изменения. Также в работе сера и ее производные используются в качестве добавки для химической обработки. Известно, что сера сама по себе является сильным восстановителем, поэтому она может влиять на морфологию и химический состав поверхности органического заполнителя серосодержащих арболитов. Установлено, что наибольший показатель коэффициента эффективности, равный 1,02 и 1,01, имеют образцы серосодержащего арболита на основе измельченного тростника и стеблей хлопчатника. Исследование структуры зон контакта серосодержащего вяжущего с измельченным мерсеризованным тростником на образцах из теста вяжущего с включением измельченного тростникового волокна показало, что оно имеет плотную и прочную связующую оболочку шириной 35-60 мкм. Полученные результаты подтверждают, что мерсеризация целлюлозно-органических агрегатов серосодержащих арболитов повышает их адгезионную способность. Полученные результаты исследования могут быть использованы при изготовлении стеновых материалов для малоэтажного строительства.

Ключевые слова: Серосодержащий арболит, зона контакта, коэффициент эффективности, сера, микротвердость органического заполнителя, мерсеризация, прочность на сжатие.

References

1. Kulsharov, B., Isakulov, B., Sokolova, Y., Akulova, M., Sokolova, A. Slag-alkali lightweight concrete with corn waste aggregate. *E3S Web of Conferences*, 2023, 457, 01003.
2. Isakulov, B., Abdullaev, H., Mukasheva, A., Akishev, U., Ordabayeva, G. Investigation of the formation of microstructure and strength characteristics of slag-alkaline arbolite. *Eureka, Physics and Engineering*, 2023, 2023(2), pp. 209–221.
3. 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*, 2023, 24(105), pp. 11–17.
4. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B., Sokolova, A., Isakulov, A. The Study of the Impact of Iron and Sulfur Containing Additives on the Strength Properties of Sulfur Containing Binders. *Solid State Phenomena*, 2022, 334, pp. 195–201.
5. Bazhirov N.S., Dauletiyarov M.S., Bazhirov T.S., Serikbayev B.E., Bazhirova K.N. Research of waste of aluminum production as the raw components in technology of composite cementing materials. *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences.* ISSN 2224-5278. 2018. Vol. 1, N 427. P. 93-98.
6. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B.R., Sokolova, A., Isakulov, A.B. The study of structure formation and mechanical strength properties of sulfur-containing woodcrete composites exposed to permanently acting loads. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 2020, 869 (3), 032005.
7. Sokolova, Y.A., Akulova, M.V., Isakulov, B.R., Kul'sharov, B.B., Isakulov, A.B. The study of creep and deformation properties of sulfur-containing arbolit exposed to various compression stresses. *Key Engineering Materials*, 2021, 899 KEM, pp. 137–143.
8. Sadieva Kh. R., Massalimova B. K., Abisheva R. D., Tsoy I. G., Nurlybayeva A. N., Darmenbayeva A. S., Ybraimzhanova L. K., Bakibaev A. A., Sapi A. K. Preparation of carbon nanocomposites on the basis of silicon-tin containing substances. *News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences.* Volume 4, Number 436 (2019), P. 158 – 166. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.110>.
9. Sokolova, YA; Akulova, MV ; Isakulov, BR; Sokolova, AG; Kul'sharov, BB; Isakulov, AB. Detoxication of by-products of oil and gas industry accompanied by obtaining iron and sulfur-containing binders for structural building materials. *News of the National Academy of sciences of the Republic of Kazakhstan-series chemistry and technology.* Volume 6, pp. 65-72, 2020. DOI: 10.32014/2020.2518-1491.99.
10. Sokolova, Y., Akulova, M., Isakulov, B., Zhekeyev, S., Isakulov, A. The Study of Deformation Properties and Creep of Sulfur-containing Wood Concrete Composites. *AIP Conference Proceedings*, 2023, 2497, 020031.
11. Activation of binding polarization as a way to increase the strength of the arbolite // *Reports of the Ministry of Science and higher education. Akchabaev A.A., Bisenov K.A., Uderbaev S. S. Almaty: News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan*, 1999. N 4. Page 57-60.
12. Mechanochemical activation and detoxification of industrial waste to obtain binding lightweight concretes. Akulova M.V., Isakulov B.R. *Bulletin VolGASU. Series: construction and architecture.* N 31(50). Part 2. Building sciences. Volgograd, 2013. Page 75-80.
13. Obtaining and research of physical and chemical properties of chelated polymer-containing microfertilizers on the basis of technogenic waste for rice seed biofortification. Beysenbayev O.K.,

Umirzakov S.I., Tleuov A.S., Smaylov B.M., Issa A.B., Dzhamantikov Kh., Zakirov B.S. News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan series of geology and technical sciences. Volume 1, Number 433 (2019), Page 80–89 <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.10>

14. Research of waste of aluminum production as the raw components in technology of composite cementing materials. Bazhirov N.S., Dauletiyarov M.S., Bazhirov T.S., Serikbayev B.E., Bazhirova K.N. News of the national academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series of geology and technical sciences. ISSN 2224-5278. 2018. Vol. 1, N 427. Page 93-98.

15. Features of testing piles for high-rise buildings in difficult soil conditions in Astana. Mussakhanova, S., Zhussupbekov, A., Omarov, A., Abilmazhenov, T., Issakulov, A. International Journal of GEOMATE, 2023, 25(110), Page 106–113.

Information about the authors:

Isakulov B.R. – first author and author for correspondence, doctor of technical sciences, professor-researcher of the department "Science and Innovation" of the institution "Baishev University", 302A Br. Zhubanov str., 030000, Aktobe, Kazakhstan.

Tukashev J.B. – (PhD) candidate of technical sciences, associate professor of department "Transport engineering, organization of transportations and construction" of Aktobe regional university named after K. Zhubanov, A. Moldagulova ave. 34, 030000, Aktobe, Kazakhstan.

Abdullaev H.T. – (PhD) Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of "Transport engineering, organization of transportation and construction" of Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, 34, A. Moldagulova Ave. 34, 030000, Aktobe, Kazakhstan.

Isakulov A.B. – doctoral student of the Eurasian National University named after L.N. Gumilyov, Satpayev Street, House 2, 010017, Astana, Kazakhstan.

Исакулов Б.Р. – бірінші автор және хат-хабар авторы, техника ғылымдарының докторы, «Баишев университеті» мекемесі, «Ғылым және инновация» департаментінің зерттеуші-профессоры, ағ. Жұбановтар көшесі, 302А үй, 030000, Ақтөбе қаласы, Қазақстан.

Тукашев Ж.Б. – техника ғылымдарының кандидаты, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, көлік техникасы, тасымалдауды ұйымдастыру және құрылыс кафедрасының доценті, Ә. Молдағұлова даңғылы, 34 үй, 030000, Ақтөбе қаласы, Қазақстан.

Абдуллаев Х.Т. – техника ғылымдарының кандидаты, Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, көлік техникасы, тасымалдауды ұйымдастыру және құрылыс кафедрасының доценті, Ә. Молдағұлова даңғылы, 34 үй, 030000, Ақтөбе қаласы, Қазақстан.

Исақұлов А.Б. – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің докторанты, Сәтбаев көшесі, 2 үй, 010017, Астана қаласы, Қазақстан.

Исакулов Б.Р. – первый автор и автор для корреспонденции, доктор технических наук, профессор-исследователь департамента «Наука и инновация» учреждения «Баишев университет», ул. Бр. Жубановых 302А, 030000, Актобе, Казахстан.

Тукашев Ж.Б. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортной техники, организация перевозок и строительство» Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова, пр. А. Молдагуловой д. 34, 030000, Актобе, Қазақстан.

Абдуллаев Х.Т. – кандидат технических наук, доцент кафедры «Транспортной техники, организация перевозок и строительство» Актюбинского регионального университета им. К. Жубанова, пр. А. Молдагуловой д. 34, 030000, Актобе, Қазақстан.

Исакулов А.Б. – докторант Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева д. 2, 010017, Астана, Қазақстан.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)



XҒТАР 65.31.13

Шолу мақала

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-167-175>

Престелген түйіршіктерді өндіру құрылғысын жетілдіру

Ж.А.Сергибаева^{1b}, Г.Б.Абдилова*^{1b}, М.Е.Шаменов^{1b}, Б.Б.Кабулов^{1b},
А.Е.Еренгалиев^{1b}

«Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан

(E-mail: *abdilova1979@bk.ru)

Аңдатпа. Бұл мақала престелген түйіршіктерді өндіру құрылғысын жетілдіруге арналған. Түйіршіктелген жем жоғары тағамдық құндылығына байланысты мал шаруашылығы үшін перспективалы өнім ретінде қарастырылады. Грануляторды жемдік дақылдардан түйіршіктер өндірісінің негізі ретінде сипаттамасы ұсынылған. Гранулятордың негізгі элементтерінің бірі матрица, ол көптеген саңылаулары бар болат бөлігі болып табылады, ол арқылы түйіршіктеу кезінде қоректік масса қысыммен өтеді. Матрицалар жалпақ және сақиналы болып бөлінеді. Конструкциясы бойынша грануляторлар роликті, барабанды, табақша, қалақша, дірілді және айналмалы-центрифугалық болып бөлінеді. Грануляторлар сонымен қатар тұрмыстық және өндірістік болып бөлінеді, олардың бір-бірінен айырмашылығы әртүрлі өлшемдер мен өнімділікте. Бүгінгі таңда грануляторлар Ресейдің кейбір зауыттарында шығарылады. ҚР Президентінің жолдауына сүйене отырып, Қазақстанға агроөнеркәсіптік кешеннің шикізатын, оның ішінде құрама жем грануляторларын қайта өңдеуге арналған жабдықтардың өзіндік өндірісін жолға қою қажет. Зерттеу барысында престелген түйіршіктерді өндіруге арналған құрылғы жасалды. Жетілдірілген гранулятордың конструкциясы жұмысшы органдарына ең жоғары жүктемелерді азайтуға, сенімділікті арттыруға, жұмыс органдарының әрекет ету аймағына жем қоспасын беруді жақсартуға мүмкіндік береді. Гранулятор негізден (корпустан), біліктерден, түсіру қалақшасынан, матрицадан, шайбадан, ішкі алтыбұрышты бұрандадан, серіппелі стопорлы шайбадан, гайкадан, ішкі алтыбұрышты бұрандадан, үштіректерден, стопорлы шайбасынан, призмалық буаттан, сақинадан, бұрандадан, роликтен және тарту қалақшасынан тұрады. Жетілдірілген құрама жем грануляторының конструкциясы қарапайым және шағын. Оның конструкциясы сапалы және оңтайлы консистенциялы түйіршікті жем өндіруге мүмкіндік береді.

Түйін сөздер: құрылғы, престелген, түйіршік, матрица, тік білік

Түсті 17.05.2024 Жөнделді 10.08.2024 Мақұлданды 05.09.2024 Онлайн қолжетімді 30.09.2024

¹*хат-хабар үшін автор

Кіріспе

ҚР Президенті өз жолдауында агроөнеркәсіптік кешенді дамытуға көп көңіл бөлу керектігін айтып өтті. Ол сондай-ақ ауылшаруашылық жануарларын өсіру кезінде оларды азықпен (жем) қамтамасыз ету мәселесін атап өтеді. «...Қазақстанның стратегиялық мақсаты – Еуразия құрлығындағы басты аграрлық орталықтың біріне айналу. Осы мақсатқа қол жеткіземіз десек, ең алдымен, өнімді жоғары деңгейде өңдеуге көшуіміз қажет. Онсыз болмайды. Біз алдағы үш жыл ішінде агроөнеркәсіптегі өңделген өнім үлесін 70 пайызға жеткізуіміз керек. Бұл – нақты міндет...» [1].

Түйіршіктелген жемнің тағамдық құндылығы жоғары болғандықтан мал шаруашылығы үшін перспективалы өнім екендігі белгілі. Әрбір түйіршікте малға немесе құсқа қажетті заттардың толық жиынтығы болады. Біріншіден, жануар түйіршікті толығымен жейді, тек ең дәмді компоненттерді таңдамайды. Екіншіден, ол тамақтануға аз энергия жұмсайды, тамақты мұқият шайнауға мүмкіндігі бар, нәтижесінде ол ағзаға жақсы сіңеді. Түйіршіктелген жем өндіріс процесінде дезинфекцияланады, жақсы сақталады және тасымалданады, механикалық және пневматикалық жүйелермен қамтамасыз етуге ыңғайлы. Түйіршіктелген жем өндірісін зерттеуге бірқатар шетелдік және отандық ғалымдардың ғылыми жұмыстары арналған [2-8].

Әдіснама

Гранулятор – жемдік дақылдардан түйіршіктер өндірудің негізі. Бұл араластырғышта дайындалған жем массасын престейтін құрылғы. Түйіршіктеу параметрлері жем түйіршіктерінің сапасына тікелей әсер етеді: ең алдымен, олар оның тығыздығына, сондай-ақ тағамдық құндылығын сақтауға әсер етеді [9-11]. Өнімнің тұтынушыға қажетті сапада жетуі үшін тығыздық маңызды, ал ұсақталған қалдықтар пайызы аз болуы тиіс.

Гранулятор матрицасы – бұл құрылғының негізгі элементтерінің бірі, түйіршіктеу кезінде көптеген тесікті болат бөлігінен қоректік масса қысым арқылы өтеді.

Матрицалар жалпақ және сақиналы болып бөлінеді.

Жазық матрица – цилиндрлі пресс-камераның түбі болып табылатын жазық диск тәрізді матрицасы бар аппарат.

Сақиналы матрица – бұл матрица жылдам айналатын сақина түрінде жасалған өндірістік жабдық. Мұндай құрылғыларда жұмысшы камера ішіне бекітілген айналмалы матрица мен пресс-білікшелер арасындағы тесіктер арқылы жем қоспасы сыртқа шығарылады.

Конструкциясы бойынша грануляторлар білікшелі, барабанды, табақшалы, қалақшалы, дірілді және роторлы – ортадан тепкіш болып бөлінеді.

Білікшелі грануляторлар жем ингредиенттерін матрицалы екі айналмалы роликтің көмегімен түйіршіктерге айналдырады. Қос роликтер қарама-қарсы бағытта айналады, қалыптасқан материалды қысады және итереді. Түйіршіктер сопақша түстес (бидайға ұқсас).

Барабанды грануляторлар - ішкі қалақшалары бар (центрифуга сияқты) қуыс цилиндр. Барабанның диаметрі 4 м-ге, ұзындығы 11 м-ге дейін. Ол рамаға көлбеу орналастырылған және екі осьте айналады. Бастапқы шикізат пен байланыстырушы

сұйықтық форсунка арқылы ішке жіберіледі. Айналу нәтижесінде ұнтақтан түйіршіктер пайда болады. Өнімділікгі 80 т/сағ дейін.

Табақшалы грануляторлар жұмыс істеу принципі бойынша барабанды грануляторларға ұқсас. Тек цилиндрдің орнына рамадағы табақшаның диаметрі 10-20% биіктігімен (диаметрі 0,5-тен 7 м-ге дейін) орнатылған. Өнімділігі 50 т/сағ дейін. Түйіршіктері дөңгелек.

Қалақшалы грануляторлар - бұл бір немесе екі айналмалы қалақшалы көлбеу білікті жабық корпуста орнатылған қондырғы. Бастапқы ұнтақ пен байланыстырушы сұйықтық жоғарыдан беріледі, ал түсіру төменде болады. Түйіршіктері илектелген.

Дірілді грануляторлар - серпімді элементтерге (серіппелерге) бекітілген көлбеу алаңдары (дірілді үстелдер) бар аппараттар. Бастапқы ұнтақ пен байланыстырушы сұйықтық үстінен беріледі. Дірілді механизмі үстелдің бетіне тербелмелі қозғалыс береді, ұнтақ домаланып, шарикке айналады. Төменгі жағында дөңгелек түйіршіктер конвейер таспасына түсіріліп, кептіруге жіберіледі.

Роторлы - ортадан тепкіш грануляторлар қозғалмайтын тік цилиндрлі және қалақшалы ішкі роторлар. Соңғысы бірнеше қатарда орналасқан және көлбеу бұрышын реттеу мүмкіндігі бар. Ұнтақ жоғарғы жағында, ал сұйықтық ортасында беріледі. Түйіршіктеу бұралған ауа ағындарындағы ортадан тепкіш күштер өрісінде жүзеге асырылады. Өнім төменнен шығады. Түйіршіктері дөңгелек.

Грануляторлар тұрмыстық және өндірістік болып бөлінеді. Тұрмыстық грануляторлар үй шаруашылықтарында, шағын өндірістерде қолданылады. Әдетте бұл өнімділігі сағатына 200 кг-нан аспайтын тегіс матрицалы аппарат.

Өнеркәсіптік құрама жем грануляторы - жақсартылған жұмыс режиміне есептелген сағатына 500 кг-нан өндіретін пресс. Өнеркәсіптік желіге арналған жем грануляторы ретінде, әдетте, жоғары өнімділікті сақиналы матрицалы аппарат таңдалады. Ең танымал «Amandus Kahl» компаниясы шығаратын тегіс матрицалы өнеркәсіптік престері де кездеседі.

Түйіршіктердің мөлшері матрицадағы тесіктер өлшеміне байланысты. Шошқалар үшін өлшемі 4 мм, сиырлар үшін өлшемі 6 мм, тауықтар үшін өлшемі 2 мм. Матрица үлкенірек және кішірек болуы мүмкін, диаметрі 100 мм және 1 метр болатын құрылғылар бар. Матрицаның диаметрі өнімділікке әсер етеді:

- 100 мм - 40 кг/сағ;
- 150 мм - 100 кг/сағ;
- 200 мм - 200 кг/сағ;
- 260 мм - 300 кг / сағ және т.б.

Ресейде «Курск гранулятор зауыты» «Соловей» түйіршіктелген құрама жемге арналған бірқатар құрылғыларды ұсынады. Бұл қондырғылардың басты артықшылықтарының бірі олардың әмбебаптығы. Оларды мал өсірушілер мен жем өндірушілер кез-келген құрамды өңдеу үшін жиі қолданады.

Ресейлік «АЛБ Групп» компаниясының грануляторларының модельдік қатары назар аударуға тұрарлық. ОГМ-0,8 және ОГМ-1,5 өнеркәсіптік грануляторларын ерекше атап өткен жөн. Олардың сапасы жем мен пеллет өндірушілерінің көптеген пікірлерімен расталады. Компания сағатына 0,5-тен 7 тоннаға дейінгі немесе одан да көп өнімділікті грануляторларды ұсынады.

Сондай-ақ, компания тұрмыстық грануляторлардың шағын модельдерін ұсынады. Мұндай құрылғылар тот баспайтын болаттан жасалған сапалы матрицалармен

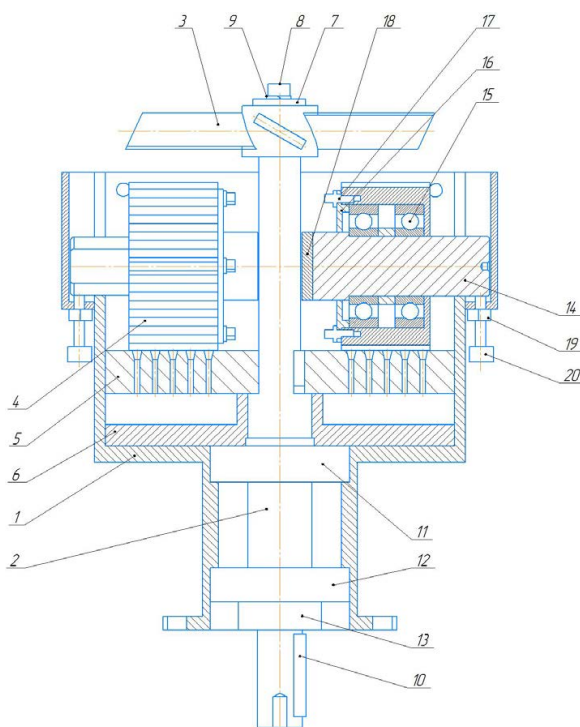
жабдықталған. Айта кету керек, сипатталған құрылғыларды өндіруде жоғары дәлдіктегі лазерлік кесу қолданылады. Нәтижесінде ешқандай қисықтықсыз тексерілген конструкциялар жасалады. Ең алдымен, грануляторлардың жұмысшы камералары туралы айтуға болады.

Біздің Республикамызда түйіршіктелген жем өндіру мәселесі толықтай шешімін таппаған. Бүгінгі таңда фермерлер мен шаруа қожалықтарының көпшілігі жануарларды азықтандыру үшін жем және биоқоспаларды шетелден сатып алуда. Сондықтан отандық құрама жем өндірісін, оның ішінде түйіршіктелген түрін өндіру қажеттілігі туындап отыр. Бұл үшін елімізде жеткілікті жағдайлар жасалған: шикізаттың болуы, өндірістік алаңдар және т.б.

Нәтижелер және талқылау

Зерттеу жүргізу барысында престелген түйіршіктерді өндіруге арналған құрылғы – гранулятор жетілдірілді (1 сурет). Жетілдірілген гранулятордың міндеті жұмысшы органдарына ең жоғары жүктемелерді азайту, сенімділікті арттыру, жұмысшы органдарының әрекет ету аймағына жем қоспасын беруді жақсарту болып табылады.

Техникалық нәтижеге гранулятордың тік білігі ұзартылып, оның соңында көлбеу орнатылған пышақтар бекітіліп, жем қоспасы қысым әсерінен жұмысшы органдарының әрекет ету аймағына жіберіледі.



1- сурет. Гранулятордың жалпы көрінісі

1 - негіз (корпус), 2 - білік, 3 - тарату қалақшасы, 4 - ролик, 5 - матрица, 6 - түсіру қалақшасы, 7 - шайба, 8 - ішкі алтыбұрышты бұранда, 9 - стопорлы серіппелі шайба, 10 - призмалы буат, 11, 12 - ұштіректер; 13 - стопорлы шайба, 14 - білік, 15 - ұштірек, 16 - ұштірек қақпағы, 17 - бұранда, 18 - сақина, 19 - гайка, 20 - ішкі алтыбұрышты бұранда.

Қорытынды

Гранулятор негізден (корпустан) 1 және тік біліктен 2 тұрады. Тік білікте тарату қалақшасы 3, роликтер 4, матрица 5 және түсіру қалақшасы 6 орнатылған. Тарату қалақшасы 3 тік білікте 2 шайбаның 7, ішкі алтыбұрышты бұранданың 8 және стопорлы серіппелі шайбаның 9 көмегімен ұсталады. Тік біліктегі 2 призмалық буат 10 үштіректерде 11, 12 орнатылған, олар стопорлы шайбамен 13 бекітілген. Роликтерде 4 қақпақты 16 үштіректе 15 орналасқан білік 14 бар. Ұштірек қақпағы 16 бұрандамен 17 ұсталады. Тік білік 2 және білік 14 сақина 18 арқылы өзара байланысты. Білік 14 гайкамен 19 және ішкі алтыбұрышты бұрандамен 20 бекітіледі. Жем қоспасы тарату қалақшасына 3 келіп түседі, роликтер 4 оны матрица 5 тесіктері арқылы итереді. Дайын қоспа түсіру қалақшасының 6 көмегімен сыртқа шығарылады. Гранулятордың жетегі электрқозғалтқыштан сынабелдікті беріліс арқылы жүзеге асырылады.

Сонымен, престелген түйіршіктерді өндіруге арналған құрылғыны жетілдіру міндеті орындалды. Жетілдірілген құрылғының конструкциясы қарапайым және шағын болып табылады. Оның конструкциясы сапалы және оңтайлы консистенциялы түйіршікті жем өндіруге мүмкіндік береді.

Авторлардың қосқан үлесі.

Шаменов М.Е. – Кіріспе жазған

Кабулов Б.Б. – Әдіснама жазған

Сергибаева Ж.А., Абдилова Г.Б. – Нәтижелер және талқылау жазғандар

Еренгалиев А.Е. – Қорытынды жазған

Әдебиеттер тізімі

1. Мемлекет басшысы Қасым-Жомарт Тоқаевтың «Әділетті Қазақстанның экономикалық бағдары» атты Қазақстан халқына Жолдауы, <https://www.akorda.kz/kz/memleket-basshysy-kasym-zhomart-tokaevty-n-adiletti-kazakstannyn-ekonomikalyk-bagdary-atty-kazakstan-halkyna-zholdauy-18333>, 01.09.2023.

2. Белооков А, Белоокова О, Журавлев В, Гритсенко С, Бобылева И, Ермолова Е, Ермолов С, Матросова И, Ребезов М and Пономарев Е. 2019 Using of EM-technology (effective microorganism) for increasing the productivity of calves International Journal of Engineering and Advanced Technology 8 (4) 1058–61.

3. Шарипова А, Хазиев Д, Канарейкина С, Канарейкин В, ребезов М, Казанина М, Андреева А, Окусханова Е, Есмбеков У и Быкова О. 2017 The effects of a probiotic dietary supplementation on the amino acid and mineral composition of broilers meat Annual Research and Review in Biology 21 (6) 1–7 DOI: 10.9734/ARRB/2017/38429.

4. Zhonga R Z, Fang Y, Zhou D W, Sunc X Z, Zhoue C S and He Y Q 2018 Pelleted total mixed ration improves growth performance of fattening lambs Animal Feed Science and Technology 242 127–34 DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2018.06.008.

5. Zhang C, Li M M, Al-Marashdeh O, Gan L P, Zhang C Y and Zhang G G 2019 Performance, rumen fermentation, and gastrointestinal microflora of lambs fed pelleted or unpelleted total mixed ration Animal Feed Science and Technology 253 22–31 DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2019.05.003.

6. Ehab Bo Trabi, Hossam-eldin Seddika, Fei Xie, Xinfeng Wang, Junhua Liu and Shengyong Mao 2020 Effect of pelleted high-grain total mixed ration on rumen morphology, epithelium associated microbiota and gene expression of proinflammatory cytokines and tight junction proteins in Hu sheep Animal Feed Science and Technology 263 114453 DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114453.

7. Ileleji K E, Yi Li, Ambrose K R P, and Doane Perry H 2016 Experimental investigations towards understanding important parameters in wet drum granulation of corn stover biomass Powder Technology 300 126–35 DOI: 10.1016/j.powtec.2016.01.034.

8. Li Xiao-Qin, Xu Huai-Bing, Sun Wen-Tong, Xu Xiao-Ying, Xu Zhen and Leng Xiang-Jun 2018 Grass carp fed a fishmeal-free extruded diet showed higher weight gain and nutrient utilization than those fed a pelleted diet at various feeding rates Aquaculture 493 283–88 DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.04.058

9. Massuquetto A, Panisson J C, Marx F O, Surek D, Krabbe E L and Maiorka A 2019 Effect of pelleting and different feeding programs on growth performance, carcass yield, and nutrient digestibility in broiler chickens Poultry Science 98 (11) 5497–03 DOI: 10.3382/ps/pez176.

10. Okolie P Ch, Chukwujike I Ch, Chukwuneke J L and Dara J E 2019 Design and production of a fish feed pelletizing machine Heliyon 5 (6) DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02001.

11. Boltz T P, Boney J W, Shen C, Jaczynski J and Moritz J S 2019 The effect of standard pelleting and more thermally aggressive pelleting utilizing a hygieniser on feed manufacture and reduction of enterococcus faecium, a salmonella surrogate Journal of Applied Poultry Research 28 (4) 1226–33 DOI: 10.3382/japr/pfz088

Ж.А.Сергибаева, Г.Б.Абдилова*, М.Е. Шаменов, Б.Б. Кабулов, А.Е. Еренгалиев

НАО «Университет имени Шакарима города Семей»,

Семей, Казахстан

Разработка устройства для производства прессованных гранул

Аннотация. Статья посвящена разработке устройства для производства прессованных гранул. Рассмотрены гранулированные корма как перспективный продукт для животноводства из-за их высокой пищевой ценности. Приведено описание гранулятора как основы производства гранул из кормовых культур. Одним из ключевых элементов гранулятора является матрица, представляющую собой стальную деталь со множеством отверстий, через которую под давлением пропускается питательная масса при гранулировании. Матрицы делятся на плоские и кольцевые. Грануляторы по конструкции также делятся на валковые, барабанные, тарельчатые, лопастные, вибрационные и роторно-центробежные. Грануляторы также бывают бытовые и промышленные, отличие которых друг от друга заключается в разных габаритных размерах и производительности. На сегодняшний день выпуск грануляторов осуществляется на некоторых заводах России. Исходя из послания Президента РК следует, что Казахстану необходимо наладить собственное производство оборудования для переработки сырья агропромышленного комплекса, в том числе и грануляторов комбикормов. В ходе исследований нами разработан гранулятор комбикорма. Конструкция разработанного гранулятора позволит снизить пиковые нагрузки на рабочие органы, повысить надежность, улучшить подачу кормовой смеси в зону

действия рабочих органов. Гранулятор состоит из основания (корпуса), валов, выгрузочной лопасти, матрицы, шайбы, винта с внутренним шестигранником, пружинной стопорной шайбы, гайки, винта с внутренним шестигранником, подшипников, стопорной шайбы, призматической шпонки, кольца, винта, ролика и распределительной лопасти. Разработанный гранулятор комбикорма имеет простую конструкцию и компактный внешний вид. Его конструкция позволит вырабатывать гранулированные корма хорошего качества и оптимальной консистенции.

Ключевые слова: устройство, прессованный, гранула, матрица, вертикальный вал

Zh. Sergibaeva, G. Abdilova*, M. Shamenov, B. Kabulov, A. Yerengaliev

Shakarim University, Semey, Kazakhstan

The development of a device for the production of pressed granules

Abstract: The article is devoted to the development of a device for the production of pressed granules. Granular feed is considered as a promising product for animal husbandry due to their high nutritional value. The description of the feed granulator as the basis for the production of pellets from fodder crops is given. One of the key elements of the granulator is a matrix, which is a steel part with many holes through which the nutrient mass is passed under pressure during granulation. The matrices are divided into planar and annular. Granulators by design are also divided into roller, drum, disc, blade, vibrating and rotary-centrifugal. Granulators can also be domestic and industrial, which differ from each other in different overall dimensions and performance. To date, the production of granulators is carried out at some plants in Russia. Based on the message of the President of the Republic of Kazakhstan, it follows that Kazakhstan needs to establish its own production of equipment for processing raw materials of the agro-industrial complex, including feed pellets. In the course of our research, we have developed a feed granulator. The design of the developed granulator will reduce peak loads on the working bodies, increase reliability, and improve the feed mixture supply to the area of operation of the working bodies. The granulator consists of a base (housing), shafts, an unloading blade, a die, a washer, a screw with an internal hexagon, a spring lock washer, a nut, a screw with an internal hexagon, bearings, a lock washer, a prismatic key, a ring, a screw, a roller and a distribution blade. The developed feed granulator has a simple design and compact appearance. Its design will allow the production of granular feed of good quality and optimal consistency.

Keywords: device, pressed, granule, matrix, vertical shaft.

References

1. Message from The Prezident of State Kassym-Jomart Tokayev to the people of Kazakhstan “Economic course of a Just Kazakhstan”, regional socio-political newspaper “Akmola Pravda”, 01.09.2023.
2. Belookov A, Belookova O, Zhuravel V, Gritsenko S, Bobyleva I, Ermolova E, Ermolov S, Matrosova Y, Rebezov M and Ponomarev E 2019 Using of EM-technology (effective microorganism) for increasing the productivity of calves International Journal of Engineering and Advanced Technology 8 (4) 1058–61.
3. Sharipova A, Khaziev D, Kanareikina S, Kanareikin V, Rebezov M, Kazanina M, Andreeva A, Okuskhanova E, Yessimbekov Z and Bykova O 2017 The effects of a probiotic dietary supplementation

on the amino acid and mineral composition of broilers meat Annual Research and Review in Biology 21 (6) 1–7 DOI: 10.9734/ARRB/2017/38429.

4. Zhonga R Z, Fang Y, Zhou D W, Sunc X Z, Zhoue C S and He Y Q 2018 Pelleted total mixed ration improves growth performance of fattening lambs Animal Feed Science and Technology 242 127–34 DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2018.06.008.

5. Zhang C, Li M M, Al-Marashdeh O, Gan L P, Zhang C Y and Zhang G G 2019 Performance, rumen fermentation, and gastrointestinal microflora of lambs fed pelleted or unpelleted total mixed ration Animal Feed Science and Technology 253 22–31 DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2019.05.003.

6. Ehab Bo Trabi, Hossam-eldin Seddika, Fei Xie, Xinfeng Wang, Junhua Liu and Shengyong Mao 2020 Effect of pelleted high-grain total mixed ration on rumen morphology, epithelium associated microbiota and gene expression of proinflammatory cytokines and tight junction proteins in Hu sheep Animal Feed Science and Technology 263 114453 DOI: 10.1016/j.anifeedsci.2020.114453.

7. Ileleji K E, Yi Li, Ambrose K R P, and Doane Perry H 2016 Experimental investigations towards understanding important parameters in wet drum granulation of corn stover biomass Powder Technology 300 126–35 DOI: 10.1016/j.powtec.2016.01.034.

8. Li Xiao-Qin, Xu Huai-Bing, Sun Wen-Tong, Xu Xiao-Ying, Xu Zhen and Leng Xiang-Jun 2018 Grass carp fed a fishmeal-free extruded diet showed higher weight gain and nutrient utilization than those fed a pelleted diet at various feeding rates Aquaculture 493 283–88 DOI: 10.1016/j.aquaculture.2018.04.058

9. Massuquetto A, Panisson J C, Marx F O, Surek D, Krabbe E L and Maiorka A 2019 Effect of pelleting and different feeding programs on growth performance, carcass yield, and nutrient digestibility in broiler chickens Poultry Science 98 (11) 5497–03 DOI: 10.3382/ps/pez176.

10. Okolie P Ch, Chukwujike I Ch, Chukwuneke J L and Dara J E 2019 Design and production of a fish feed pelletizing machine Heliyon 5 (6) DOI: 10.1016/j.heliyon.2019.e02001.

11. Boltz T P, Boney J W, Shen C, Jaczynski J and Moritz J S 2019 The effect of standard pelleting and more thermally aggressive pelleting utilizing a hygieniser on feed manufacture and reduction of enterococcus faecium, a salmonella surrogate Journal of Applied Poultry Research 28 (4) 1226–33 DOI: 10.3382/japr/pfz088

Авторлар туралы мәлімет:

Ж.А. Сергибаева – технологиялық жабдықтар мен машинажасау кафедрасының PhD докторанты, «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан

Г.Б. Абдилова – техника ғылымдарының кандидаты, технологиялық жабдықтар мен машинажасау кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан

М.Е. Шаменов – техника ғылымдарының кандидаты, технологиялық жабдықтар мен машинажасау кафедрасының оқытушысы, «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан

Б.Б. Кабулов – техника ғылымдарының кандидаты, технологиялық жабдықтар мен машинажасау кафедрасының қауымдастырылған профессоры, «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан

А.Е. Еренғалиев – техника ғылымдарының кандидаты, технологиялық жабдықтар мен машинажасау кафедрасының профессоры, «Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті» КеАҚ, Семей, Қазақстан

Сергибаева Ж.А. – PhD докторант кафедрасы «Технологическое оборудование и машиностроение», НАО «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан

Абдилова Г.Б. – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедрасы «Технологическое оборудование и машиностроение», НАО «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан

Шаменов М.Е. – кандидат технических наук, преподаватель кафедрасы «Технологическое оборудование и машиностроение», НАО «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан

Кабулов Б.Б. – кандидат технических наук, ассоциированный профессор кафедрасы «Технологическое оборудование и машиностроение», НАО «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан

Еренғалиев А.Е. – кандидат технических наук, профессор кафедрасы «Технологическое оборудование и машиностроение», НАО «Университет имени Шакарима города Семей», Семей, Казахстан

Zh. Sergibaeva – PhD student of the The Department of technological equipment and machine engineering, Shakarim University, Semey, Kazakhstan

G. Abdilova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the The Department of technological equipment and machine engineering, Shakarim University, Semey, Kazakhstan

M. Shamenov – Candidate of Technical Sciences, teacher of the The Department of technological equipment and machine engineering, Shakarim University, Semey, Kazakhstan

B. Kabulov – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the The Department of technological equipment and machine engineering, Shakarim University, Semey, Kazakhstan

A. Yerengaliyev – Candidate of Technical Sciences, Professor of the The Department of technological equipment and machine engineering, Shakarim University, Semey, Kazakhstan



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



XҒТАР 81.93.29

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-176-188>

Шолу мақала

Ақпараттық қауіпсіздіктің криптографиялық әдістеріне салыстырмалы талдау жүргізу

З.А. Исағалиева¹, Ә.С. Әбдіраман², Н.К. Меделбаева³, Л.С. Алдашева³,
А.Ж. Алибек³

¹О. Тұрмағанбетұлы атындағы Маңғыстау индустриалды техникалық колледжі

²Әл-Фараби атындағы №21 мамандандырылған гимназия

³Astana IT University

(E-mail: aliya.abdiraman@astanait.edu.kz)

Аңдатпа. Бұл мақалада шифрлау алгоритмдерінің криптографиялық тұрақтылығын талдау әдістерін зерттеуге арналған. Шифрлау жүйелерінің тез дамуы, сондай-ақ оларды бұзудың ілеспе дамуы жоғары криптотұрақтылығы бар жаңа жүйелердің пайда болуына әкеледі. Жұмыс барысында әртүрлі параметрлер бойынша шифрлаудың танымал әдістері зерттелді (өнімділік, жад көлемі, бұзылуға төзімділік және т.б.) зерттеу нәтижелері бойынша DES және AES алгоритмдері таңдалды және Cryptool 2 бағдарламалық өнімінің көмегімен оның алгоритмі модельденді, сондай-ақ әртүрлі әдістер бойынша шабуыл жасалды. Зерттеу нәтижелері бойынша объектіге бағытталған C# бағдарламалау тілін қолдана отырып шифрлау алгоритмдерінің бағдарламалық құралы жобаланды.

Түйін сөздер: криптография, ақпараттық қауіпсіздік, тұтастық, шифрлау, AES, DES, 3DES.

Түсті 30.05.2024 Жөнделді 14.08.2024 Мақұлданды 09.09.2024 Онлайн қолжетімді 30.09.2024

Кіріспе

Компьютерлік жүйелердің адам қызметінің кез-келген салаласына кеңінен енуі, цифрландыру үрдісінің қарқынды дамуы деректерді өңдеу жүйелерін киберқауіпке осал, сонымен қатар, қоғам пайдаланылатын мәліметтер ақпараттық технологиялардың қауіпсіздік деңгейіне тәуелді етеді. Сол себепті, айналымдағы және жіберілетін ақпараттың қауіпсіздігі қолданылатын ақпаратты қорғаудың криптографиялық алгоритмдеріне тікелей байланысты.

Кез-келген мемлекеттің даму стратегиясының басымдықтарының бірі ұлттық қауіпсіздік болып табылады, ал оның аса маңызды элементтерінің бірі ақпараттық қауіпсіздік болып табылады. Сондықтан ақпаратты қорғаудың жаңа технологияларын құру, оған қолжетімділікті шектеу, ақпаратты қорғаудың қажетті деңгейін қамтамасыз ету және қазіргі заманғы талаптарға жауап беретін ақпаратты қорғау құралдарын әзірлеу өзекті міндеттердің біріне айналады. Қорғалған ақпарат алмасу жүйелерінде ақпараттың құпиялылығын, тұтастығын, авторлығын теріске шығармауды қамтамасыз ететін криптографиялық құралдар пайдаланылуы тиіс [1]. Әр елде деректерді шифрлау және дешифрлау үшін ақпаратты криптографиялық қорғаудың әртүрлі стандарттары қолданылады. Бұл ретте, криптографиялық алгоритмдерге талдау жасау, зерттеу жүргізу оларды қолдану тиімділігін арттыруға, жетілдіру бойынша ұсыныстар енгізуге, артықшылықтары мен әлсіз тұстарын анықтауға үлкен мүмкіндік берері сөзсіз.

Әдіснама

Зерттеу мәселесі – ақпаратты қорғаудың криптографиялық әдістерін зерттеп, оларға салыстырмалы талдау жүргізу; зерттеу нәтижесіне алынған мәліметтерге сүйене отырып, объектілі-бағытталған бағдарламалау тілдерін қолданып, симметриялық алгоритмнің жұмысын модельдейтін бағдарламалық жасақтама құру [2].

Аталған мақсатқа жету үшін келесідей міндеттер қойылды:

- ақпаратты криптографиялық қорғау әдістеріне шолу және талдау;
- ақпаратты криптографиялық қорғау жүйелеріне қойылатын талаптар мен өнімділік критерийлерін бағалау;
- ақпаратты криптографиялық қорғау әдістерін және олардың жұмыс принципін зерттеу.
- ақпаратты криптографиялық қорғаудың қолданыстағы әдістеріне және олардың мүмкіндіктеріне салыстырмалы талдау жүргізу;
- заманауи объектілі-бағытталған бағдарламалау тілдерін қолдана отырып, симметриялық алгоритмді модельдеу әдістерін зерттеу;
- ақпаратты шифрлаудың симметриялық алгоритмінің жұмысын визуалды модельдеу үшін объектілі-бағытталған бағдарламалау тілінде пайдаланушы интерфейсі бар бағдарламалық жасақтаманы әзірлеу;
- объектілі-бағытталған бағдарламалау тілдерін қолдана отырып, модельдеудің ыңғайлы және тиімді әдісін таңдау. Бағдарламалық жасақтаманы модельдеу процесін және функционалдығын сипаттау.

Ақпараттық қауіпсіздікті қаматамасыз ету әлі де болса толық шешімін таппаған мәселе. Бұл ретте қауіпсіздіктің салыстырмалы түрде жоғары деңгейін көрсете алатын алгоритмдерді таңдай білу қажет. Бұл жұмыста алгоритмдердің басты параметрлері сипатталды (кілт ұзындығы, өңделетін блок ұзындығы, математикалық моделінің күрделілігі, криптоаналитикалық шабуылдарға төзімділігі) және қазіргі кездегі ең танымал симметриялық криптожүйелерге салыстырмалы талдау жүргізілді. Алгоритмдердің тұрақтылығын сандық бағалау келесі критерийлер бойынша анықталды: крипто тұрақтылығы, крипто-тұрақтылық қоры, кілттің кеңею жылдамдығы, жұмыс уақытында шабуылдардан қорғау, көшкін әсерін жүзеге асыру, кілтті тез кеңейту мүмкіндігі және параллель есептеу мүмкіндігі. Әр шифрлау алгоритмінің артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды [3]. Зерттеулер мен талдау нәтижесінде шифрлаудың ең берік симметриялық алгоритмдері таңдалды. Объектілі-бағытталған программалау тілдерін қолданып, таңдалған алгоритмнің жұмысын модельдейтін қолданушы интерфейсіне ие бағдарламалық жасақтама әзірленді.

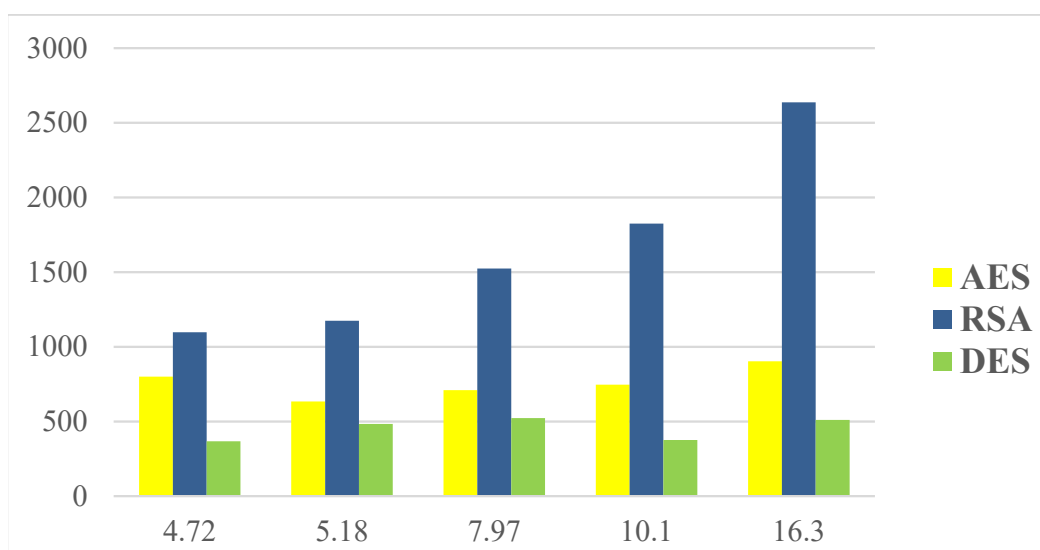
Зерттеу жұмысының теориялық және тәжірибелік маңызы ақпаратты қорғаудың криптографиялық алгоритмдеріне жүргізілген талдау нәтижелері және ақпаратты түрлендіру мақсатында симметриялық алгоритмдерді модельдейтін бағдарламалық жасақтаманың әзірленуімен негізделеді.

Криптографиялық алгоритмдерді уақыт, жады, қауіпсіздік деңгейі параметрлері бойынша салыстыру.

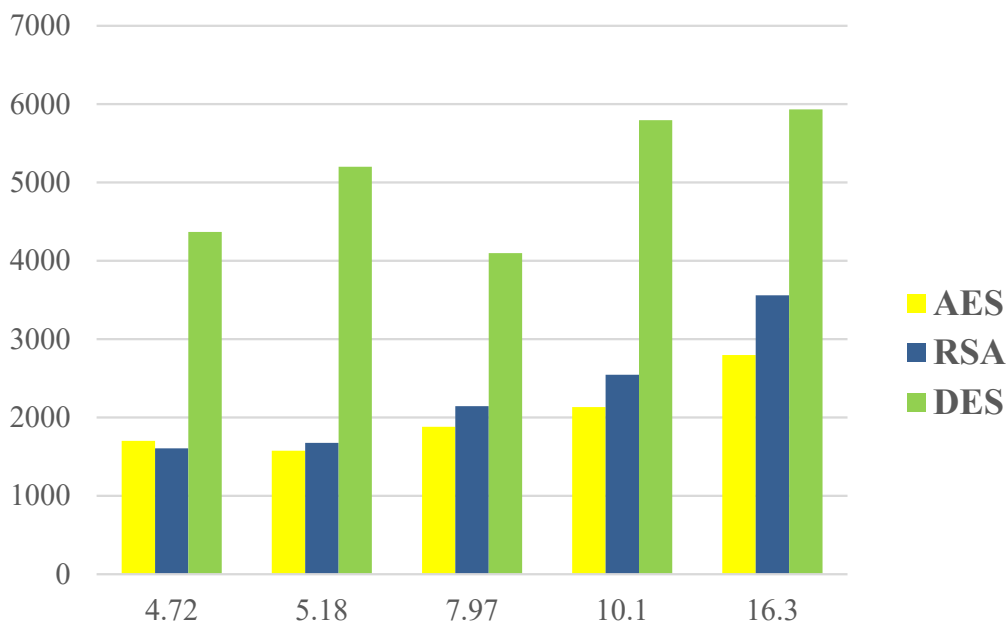
Ақпаратты криптографиялық қорғау құралдарын құру, оның ішінде шифрлау алгоритмдері бойынша өте көп зерттеулер жүргізілген. Осы зерттеулер нәтижесін, яғни басқа ғалымдардың ғылыми еңбектеріне шолу жасап келесідей нәтижелерге қол жеткізіп қорытынды шығарылды:

Бұл [4] ғылыми мақалада авторлар AES, DES және RSA криптографиялық алгоритмдеріне есептеу уақыты, жады пайдалану және қауіпсіздік деңгейі бойынша салыстырмалы талдау жүргізілген. Зерттеу жұмыстары әріптер, сандар және арнайы таңбалардан құралған әртүрлі өлшемдегі мәтіндік файлдарды қамтыған.

Есептеу уақыты деп қарапайым мәтінді шифрланған мәтінге айналдыру үшін қажет уақыт болып саналады. Бұл параметр әр алгоритмнің күрделілігін көрсетеді. Сурет 1-де үш алгоритмнің әртүрлі көлемдегі файлды шифрлауға кеткен уақыт көлемі (ms) көрсетілген. Ақпаратты шифрлауда DES алгоритмі AES және RSA алгоритмімен салыстырғанда көп уақыт алады. AES және RSA алгоритмі шифрлау процесіне кететін уақыттың аз көлемін көрсетті. Ал сурет 2-де үш алгоритмнің әртүрлі көлемдегі файлды кері шифрлауға, яғни дешифрлауға кеткен уақыт көлемі көрсетілген. Ақпаратты кері шифрлауда RSA алгоритмі AES және DES алгоритмімен салыстырғанда көп уақыт алады. AES алгоритмі шифрлау процесіне кететін уақыттың ең аз көлемін көрсетті.

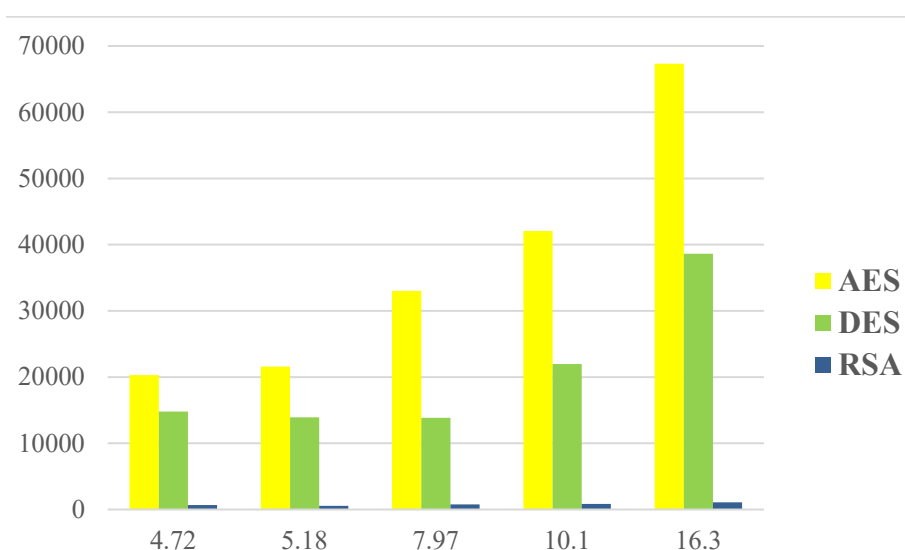


1-сурет. AES, DES және RSA алгоритмдерінің шифрлау уақытының салыстырмалы талдау нәтижесі



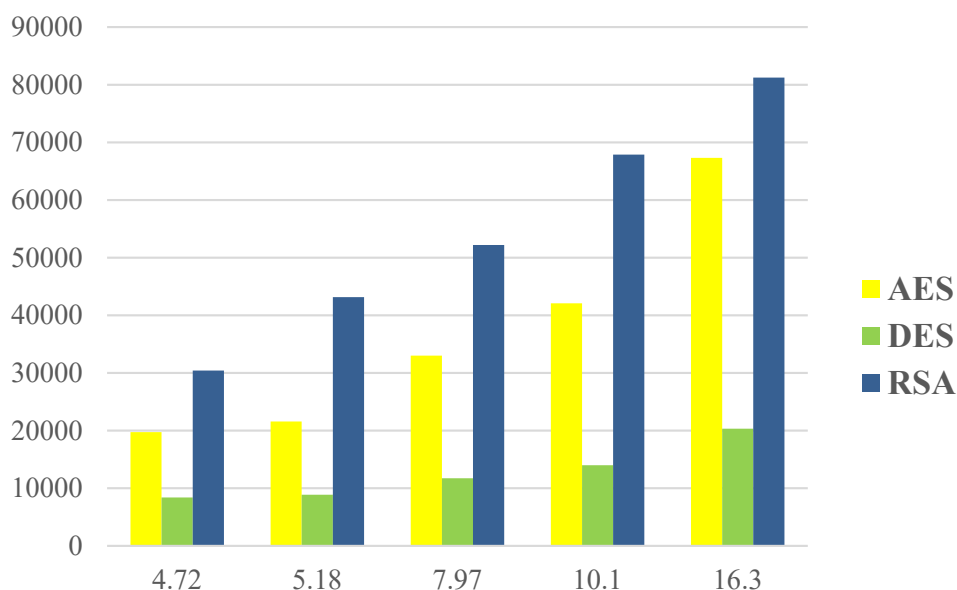
2-сурет. AES, DES және RSA алгоритмдерінің дешифрлау уақытының салыстырмалы талдау нәтижесі

Жадты пайдалануға негізделген криптографиялық алгоритмнің тиімділігін бағалау үшін алгоритмнің тиімділігіне негізделген күрделілікті тексерудің «Big-O Analysis» әдісі қолданылады, яғни ол жадыдан алатын орынды және уақытты тексереді. Сурет 3-те AES, DES және RSA алгоритмдері арасында жадты пайдаланудың (шифрлаудың) салыстырмалы талдау нәтижесі көрсетілген.



3-сурет. AES, DES және RSA арасында жадты пайдаланудың (шифрлаудың) салыстырмалы талдау нәтижесі

Сурет 4-те AES, DES және RSA алгоритмдері арасында жадты пайдаланудың (дешифрлаудың) салыстырмалы талдау нәтижесі көрсетілген.



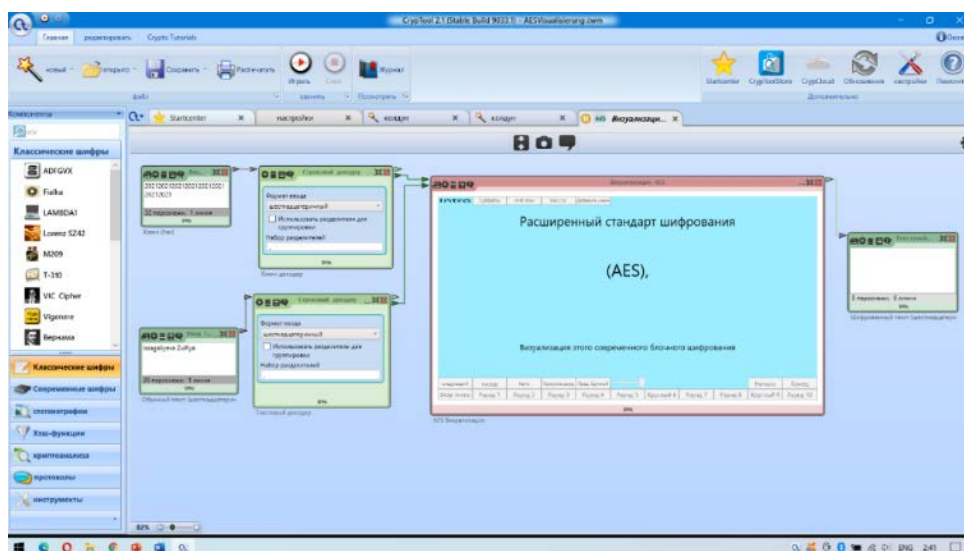
4-сурет. AES, DES және RSA арасында жадты пайдаланудың (дешифрлаудың) салыстырмалы талдау нәтижесі

Жоғарыда келтірілген графиктерде AES, DES және RSA алгоритмдері арасында уақыт, жады, қауіпсіздік деңгейі параметрлері бойынша салыстыру нәтижелері келтірілген.

Нәтижелер мен талқылау

CrypTool 2 (CT2) – бұл криптография мен криптоанализді визуализациялайтын Windows үшін заманауи электронды оқыту бағдарламасы [5]. Ол шифрлауды және криптоталдауды ғана емес, сонымен қатар олардың негіздерін және заманауи криптографияның барлық спектрін қамтиды. СТ құрамында жұмыс процестері бар 200-ден астам дайын шаблондар бар. Сондай-ақ, СТ2-де жұмыс процестерін құру үшін криптографиялық функцияларды оңай біріктіруге және орындауға болады (визуалды бағдарламалау) [6]. Мұндай тәсілмен күрделі процестерді оңай көруге болады, сондықтан оларды жақсы түсінуге болады. Векторлық графиканың көмегімен ағымдағы көріністі еркін масштабтауға болады.

Жұмыс процесінде қолданылатын компонентті іске асырылған алгоритмнің ішкі процесін визуализациялау үшін де бірдей қолдануға болады. Бұл пайдаланушыға криптографиялық процесті егжей-тегжейлі түсінуді жеңілдетеді сонымен қатар жалпы бейнені, яғни процесті қолданатын нақты сценарийді естен шығармайды. Сурет 5-те AES шифрын визуализациялау үдерісі бейнеленген.



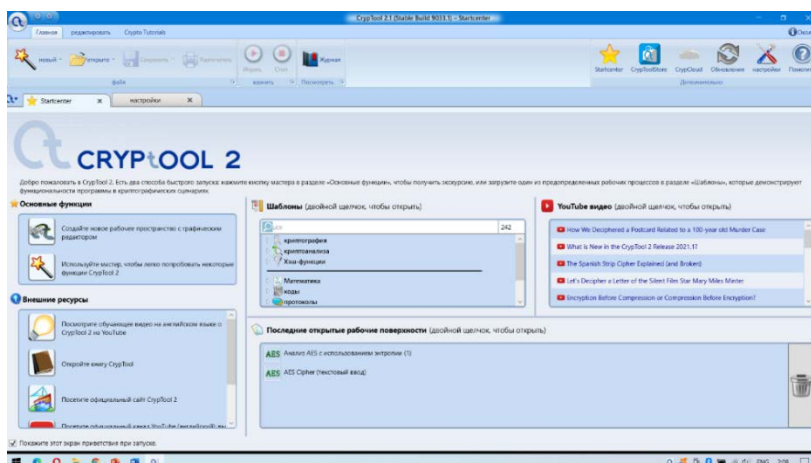
5-сурет. AES шифрын визуализациялау

CrypTool 2 (CT2) классикалық және заманауи шифрлауды талдау және бұзу үшін қолдануға болатын көптеген құралдарды ұсынады. Мысалы, жиіліктердің таралуын бағалауға, Виженер сияқты полиалфавиттік шифрлардың кілттерінің ұзындығын анықтауға, қазіргі заманғы Oracle толтыру шабуылын жасауға немесе блоктық шифрларға қарсы дифференциалды криптоанализді қолдануға мүмкіндік береді.

CrypTool-да әр түрлі кілттер мен хэш функциялары бар. Олар Startcenter шаблондарының тізімінде орналасқан. Заманауи хэш парольдері әр түрлі кілт енгізу функцияларын қолданады. Құпия сөздің (пароль) сенімділігі мамандандырылған «Құпия сөздің сенімділігін тексеру» шаблонымен тексеріледі. CrypTool талданған парольдің

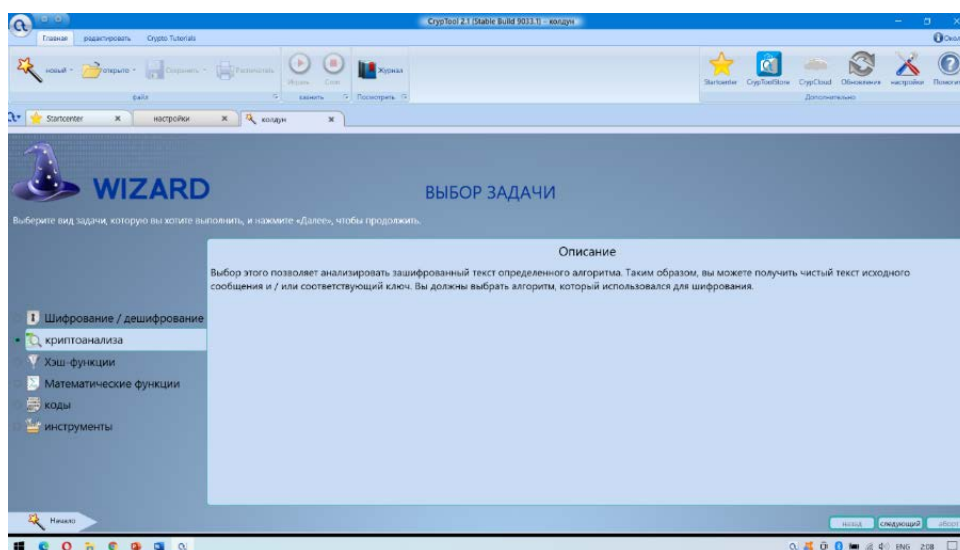
қауіпсіздік деңгейі туралы ақпарат береді. Егер қауіпсіздік деңгейі төмен болса, оны әріптер (бас әріптерді қоса), сандар мен таңбаларды қосу арқылы өзгерту қажеттігі туралы хабарлама береді. Құпия сөз сенімді болуы үшін қызметтік бағдарламамен алынған мәліметтерге сүйене отырып, оның ұзындығы таңбалар комбинациясының күрделілігіне қарағанда үлкен мәнге ие.

Сурет 6 келтірілген интерфейстің сол жақ терезесінде (негізгі терезеде), «Негізгі функциялар» бөлімінде, «Шебер көмегімен...» деп белгіленіп тұрған өрісті таңдауымыз қажет.



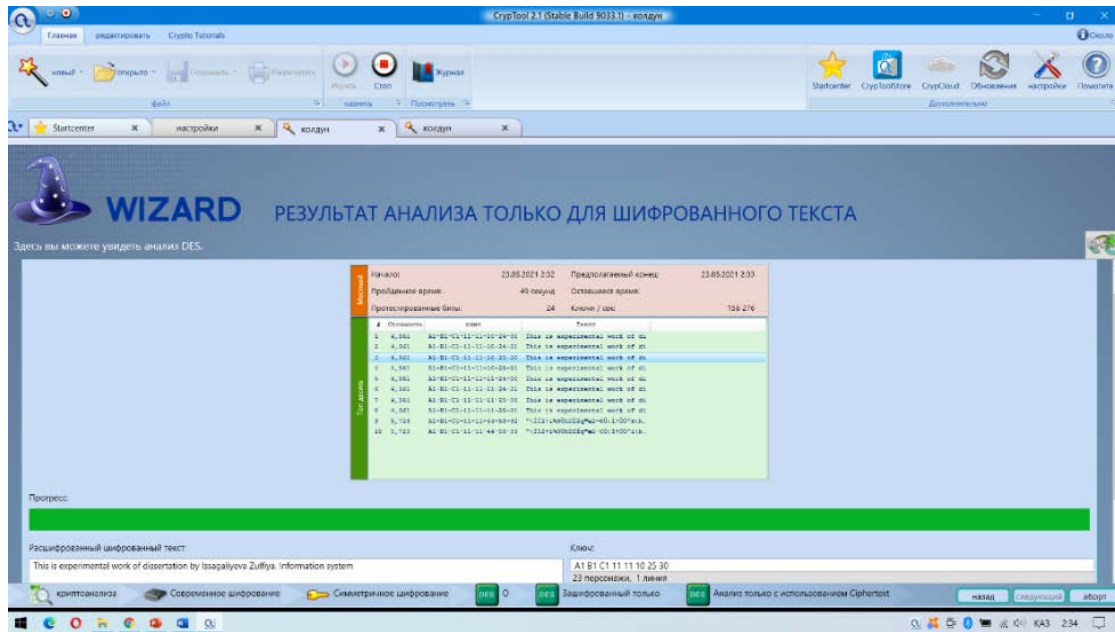
6-сурет. Cryptool 2 бағдарламасының басты беті

Cryptool 2 бағдарламасын қолданып AES және DES алгоритмдеріне мүмкін болатын кілттерді (кілтті білместен) іріктеп алу арқылы хабарламаны ашып оқу мүмкіндігі сыналды. Ол үшін ашылған сурет 7 келтірілген терезеден «Криптоталдау» бөлімін таңдап, «Келесі» батырмасын басу қажет.

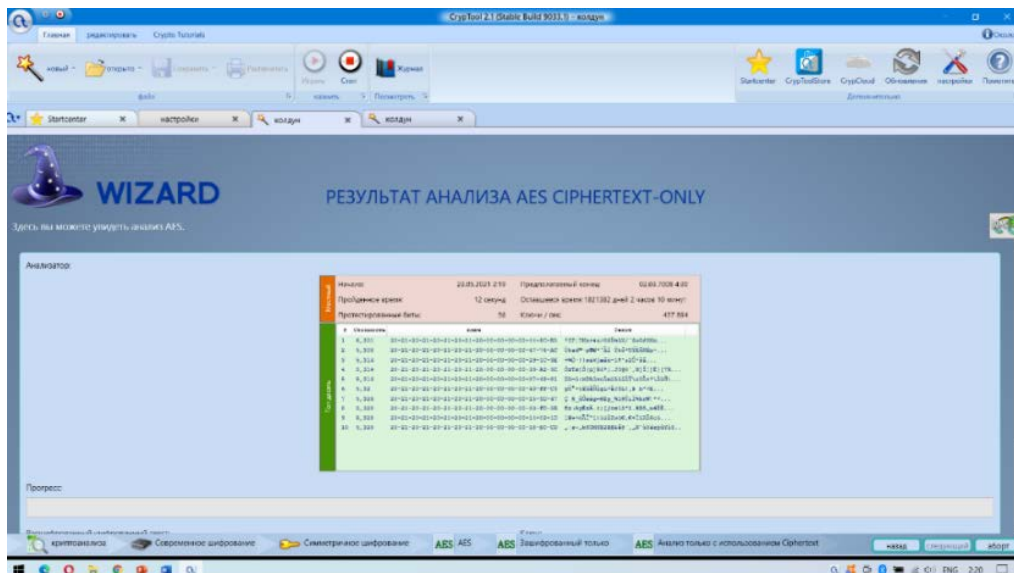


7-сурет. Cryptool 2 «Криптоталдау» беті

Сурет 13 DES криптографиялық алгоритмдерді шабуылдарға беріктілігіне талдау жүргізу нәтижесі келтірілген. Ескере кететін жәйт, егер шабылдаушы кілт мәнін мүлдем білдем білмейтін болса, кілтті іріктеп табу үшін 40 жылға жуық уақыт кететіні сурет 14 көрсетілген. Яғни теориялық түрде алгоритмдерді бұзу мүмкін болғанымен, тәжірибе жүзінде оны ешкім көрсете және дәлелдей алмады. Себебі күрделі кілтті іріктеуге кететін уақыт өте көп уақыт және қаржыны талап етеді.



Сурет 13. Cryptool 2 «Кілттерді іріктеу»



Сурет 14. Cryptool 2 «Кілт мәнін білместен хабарламаны ашып оқу»

Нақты алгоритмнің деректерді шифрлаудағы жылдамдығы шифрлау алгоритмінің жұмыс жылдамдығын талдауда маңызды параметр болып табылады [7-9]. Алгоритм қауіпсіздіктің жоғары деңгейін қамтамасыз етсе ғана сенімді болып саналады. Авторлар криптографиялық алгоритмдердің (AES, DES) қауіпсіздік деңгейлерін талдау қорытындысы бойынша кесте 1 келтірілген нәтижелерге ие болды.

1-кесте. Криптографиялық алгоритмдердің салыстырмалы сипаттамасы

Алгоритм	DES	Triple DES	Blow Fish	Two Fish	AES	RSA
Шифр түрі	Симметриялық блоктық	Симметриялық блоктық	Симметриялық блоктық	Симметриялық блоктық	Симметриялық блоктық	Асимметриялық блоктық
Кілт ұзындығы (Bits)	54	56, 112 немесе 168	32 - 448	128, 192 немесе 256	128	1024 - 4096
Блок өлшемі (Bits)	64	6	6	128	128	Өзгермелі
Жылдамдығы	Баяу	Өте баяу	Жылдам	Жылдам	Жылдам	Баяу
Қауіпсіздігі	Жеткіліксіз емес	Жеткіліксіз емес	Қауіпі аз	Қауіпсіздігі жоғарылау	Қауіпсіз	Қауіпі аз
Ерекшелігі	Кең таралған, қуаты төмен	Модификацияланған DES, Жеткіліксіз қауіпсіздік	Жоғары қауіпсіздік	-	DES алмастырылымы, Жоғары қауіпсіздік	-
Математикалық амалдар	XOR, Fixed S-boxes	XOR, Fixed S-boxes	A Logical XOR addition, Modulo Arithmetic	XOR	Substitution byte, Shift row, Mixcolumn and Addround key	Exponentiation and Modulo Arithmetic
Икемділігі	Жоқ	Иә	Иә	Иә	Иә	Иә
Шабуыл түрі	Қатал күш шабуылы (Brute Force)	«Brute» шабуылы, «Force» шабуыл, Таңдалған ашық мәтін	Dictionary Attack	Мүмкін емес дифференциалды шабуыл	Бүйірлік арна шабуылы	Ашық кілт факторингі

Қорытынды

Криптографиялық әдістер мен құралдар жаңа желілік қауіпсіздік технологияларын дамытуда маңызды рөл атқарады. Авторлардың жүргізген талдауы бойынша қарастырылған бес шифрлау алгоритмдерінің ішінде AES энергияны тұтыну, өнімділік және ресурстарды пайдалану тұрғысынан ең тиімдісі болып табылады. AES шифрлау алгоритмі жылдам, сонымен қатар, аппараттық және бағдарламалық ортада қолдануға жақсы бейімделген.

Көрсетілген нәтижелерге қарап, жұмыс өнімділігі жоғары алгоритм ретінде AES-ті ерекшелеуге болады. Келесі DES және 3DES. Жұмыс өнімділігінің салыстырмалы төмен деңгейін көрсеткен RSA шифры. Сонымен қатар аталған алгоритмдерге Cryptool 2 бағдарламасында алгоритмдерге жасалатын шабуылдарға төзімділігі талданды. Осы нәтижелерге сүйене отырып, жылдамдықтың, жадыдан алатын орын, қауіпсіздіктің жоғары деңгейін көрсеткен AES және DES алгоритмдері бағдарламалық жасақтаманы құруға негіз ретінде алынды.

Авторлардың қосқан үлесі.

Исағалиева З.А. зерттеу тұжырымдамасы мен әдістемесін әзірледі.

Әбдіраман Ә.С. хат-хабар авторы ретінде авторлар ұжымының жұмысын үйлестірді, криптографиялық алгоритмдерге салыстырмалы талдау жүргізді және мақаланың кіріспе, негізгі бөлім және қорытындыны қамтитын негізгі бөлімдерін жазып, редакциялады.

Меделбаева Н.К. криптографиялық беріктік әдістерін талдауға қатысты, алгоритмдерді сынау үшін мәліметтер дайындады, Cryptool 2 бағдарламалық құралын пайдалану арқылы эксперименттер жүргізді және нәтижелерге талдау жасады.

Л.С. Алдашева криптографиялық алгоритмдерді модельдеуге арналған бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірледі, жұмыстың модельдеу және бағдарламалаудың техникалық аспектілеріне қатысты бөлімдерін жазды және әдебиеттерге шолу жасады.

А.Ж. Әлібек симметриялық және асимметриялық шифрлау алгоритмдерін қолдану бойынша зерттеулер жүргізді, мақалада келтірілген графиктер мен кестелерді дайындап, талдады, сонымен қатар мақаланың техникалық аспектілерін өңдеуге қатысты.

Әдебиеттер тізімі

1. Priya C. Trusted Cloud Computing Platform in IaaS for Closed Box Execution Environment to VM / / Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 10, 193-198 (2018)
2. R.Ranjani and Dr.C.Priya A Fusion of Image Processing and Neural Networks for Lung Cancer Detection Using SVM In Matlab // International Journal of Pure and Applied Mathematics, 119, 100-111 (2018)
3. Prachi V. Bhalerao Hardware Implementation of Cryptosystem by AES Algorithm Using FPGA / / IJCMC, 6, 84-89 (2018)
4. GurupinderKaur, Dr.Amandeep Singh Sappal Implementation of AES Algorithm on FPGA For Low Area Consumption. // International Journal of Advanced Research in Computer Science, 8, 704-707 (2019)

5. R.Ranjani, C.Priya A Survey on Face Recognition Techniques: A Review // International Journal of Pure and Applied Mathematics, 118, 253-274 (2017)

6. Kuzminykh E.S., Ilina S.P., Maslova M.A. Analysis of impenetrable encryption algorithms // Research result. Information technologies, 9(1), 10-18 (2024)

7. Kostikov V.A. The need to compress encrypted data using LZW and Huffman coding algorithms // Theory and practice of project education, 3(19), 62-64 (2021)

8. Vovchenko N.G., Kuznetsov N.G., Makarenko E.N. Implementation of ESG principles in the strategy for sustainable development of the Russian economy [study guide], (Rostov-on-Don, 2022, 508 p.) [in Russian]

9. Объяснение шифрования AES, - [Электронды ресурс]. Қолжетімді: <https://blog.kraden.com/ru/aes-256-encryption> (қолжеткізілді 08.06.2024)

З.А. Исағалиева¹, Ә.С.Әбдіраман*², Н.К.Меделбаева³, Л.С.Алдашева³, А.Ж.Алибек³

¹Мангистауский индустриальный технический колледж имени О.Тұрмағанбетұлы

²Специализированная гимназия №21 имени Аль-Фараби атындағы

³Astana IT University

Сравнительный анализ криптографических методов защиты информации

Аннотация. Данная статья посвящена исследованию методов анализа криптографической устойчивости алгоритмов шифрования. Бурное развитие систем шифрования, а также сопутствующее развитие их взлома приводит к появлению новых систем с высокой криптостойкостью. В ходе работы были изучены популярные методы шифрования по различным параметрам (производительность, объем памяти, устойчивость к повреждениям и т.д.), по результатам исследования были выбраны алгоритмы DES и AES, а его алгоритм смоделирован с помощью программный продукт Cryptool 2, а также атаку различными методами. По результатам исследования было разработано программное обеспечение алгоритма шифрования с использованием объектно-ориентированного языка программирования C#.

Ключевые слова: криптография, информационная безопасность, целостность, шифрование, AES, DES, 3DES.

Z.A. Issagalyeva¹, A.S.Abdiraman*², N.K.Medelbayeva³, L.S.Aldasheva³, A.Zh. Alibek³

¹Mangistau Industrial Technical College named after O. Turmaganbetuly

²Specialized gymnasium No. 21 named after Al-Farabi Atyndagy

³Astana IT University

Comparative analysis of cryptographic methods of information protection

Abstract. This article is devoted to the study of methods for analyzing the cryptographic stability of encryption algorithms. The rapid development of encryption systems, as well as the concomitant

development of their hacking, leads to the emergence of new systems with high cryptographic strength. During the work, popular encryption methods were studied according to various parameters (performance, memory size, resistance to damage, etc.), based on the results of the study, the DES and AES algorithms were selected, and its algorithm was modeled using the Cryptool 2 software product, as well as attack by various methods. Based on the results of the study, software for an encryption algorithm was developed using the object-oriented programming language C#.

Keywords: cryptography, information security, integrity, encryption, AES, DES, 3DES.

References

1. Priya C. Trusted Cloud Computing Platform in IaaS for Closed Box Execution Environment to VM / / Journal of Advanced Research in Dynamical and Control Systems, 10, 193-198 (2018)
2. R.Ranjani and Dr.C.Priya A Fusion of Image Processing and Neural Networks for Lung Cancer Detection Using SVM In Matlab // International Journal of Pure and Applied Mathematics, 119, 100-111 (2018)
3. Prachi V. Bhalerao Hardware Implementation of Cryptosystem by AES Algorithm Using FPGA / / IJCMC, 6, 84-89 (2018)
4. GurupinderKaur, Dr.Amandeep Singh Sappal Implementation of AES Algorithm on FPGA For Low Area Consumption. // International Journal of Advanced Research in Computer Science, 8, 704-707 (2019)
5. R.Ranjani, C.Priya A Survey on Face Recognition Techniques: A Review / / International Journal of Pure and Applied Mathematics, 118, 253-274 (2017)
6. Kuzminykh E.S., Ilina S.P., Maslova M.A. Analysis of impenetrable encryption algorithms // Research result. Information technologies, 9(1), 10-18 (2024)
7. Kostikov V.A. The need to compress encrypted data using LZW and Huffman coding algorithms // Theory and practice of project education, 3(19), 62-64 (2021)
8. Vovchenko N.G., Kuznetsov N.G., Makarenko E.N. Implementation of ESG principles in the strategy for sustainable development of the Russian economy [study guide], (Rostov-on-Don, 2022, 508 p.) [in Russian]
9. AES encryption, - [electronic resource]. Available: <https://blog.kraden.com/ru/aes-256-encryption> (accessed 08.06.2024)

Авторлар туралы мәлімет:

Исағалиева З.А. – магистр, О.Тұрмағанбетұлы атындағы Маңғыстау индустриалды техникалық колледжі, арнайы пәндер оқытушысы, Жаңаөзен, Қазақстан

Әбдіраман Ә.С. – хат хабар авторы, магистр, Astana IT University сеньор лектор, Астана, Қазақстан

Меделбаева Н.К. – Әл-Фараби атындағы №21 мамандандырылған гимназия, математика пәні мұғалімі, Ақтөбе, Қазақстан

Алдашева Л.С. – техникалық ғылымдар кандидаты, Astana IT University асистент профессор, Астана, Қазақстан

Алибек А.Ж. – магистр, Astana IT University оқытушы, Астана, Қазақстан

Исағалиева З.А. – Магистр, Мангистауский индустриально-технический колледж имени О.Турмаганбетулы, преподаватель специальных предметов, Жанаозен, Казахстан

Әбдіраман Ә.С. – автор для корреспонденции, магистр, старший преподаватель Astana IT University, Астана, Казахстан

Меделбаева Н.К. – Учитель математики специализированной гимназии №21 имени Аль-Фараби, г. Актобе, Казахстан

Алдашева Л.С. – кандидат технических наук, доцент Astana IT University, Астана, Казахстан

Алибек А.Ж. – магистр, преподаватель Astana IT University, Астана, Казахстан

Isagalieva Z.A. – Master, Mangistau Industrial and Technical College named after O. Turmaganbetuly, teacher of special subjects, Zhanaozen, Kazakhstan

Abdiraman A.S. – corresponding author, master’s degree, senior lecturer at Astana IT University, Astana, Kazakhstan

Medelbaeva N.K. – Mathematics teacher at specialized gymnasium No. 21 named after Al-Farabi, **Aktobe, Kazakhstan**

Aldasheva L.S. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor Astana IT University, Astana, Kazakhstan

Alibek A.Zh. – Master, teacher at Astana IT University, Astana, Kazakhstan



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



IRSTI 52.01.25

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-189-205>

Article

Mathematical and computer modeling of transmission with non-traditional engagement for mining equipment drive

M.E. Isametova¹, N.S. Seiitkazy*¹, N.D. Saidinbayeva², G.S. Abilezova¹

¹K. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Almaty, Kazakhstan

²Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Karaganda, Kazakhstan

(E-mail: *seytkazy.nurgul@mail.ru)

Abstract. In modern gear mechanics, transmission mechanisms play a crucial role in converting the rotational motion of a driving shaft into the rotational motion of another shaft with varying angular speeds and torque. To achieve optimal designs for the next generation of transmission mechanisms, it is essential to develop mathematical models of their dynamic behavior, conduct computer simulations of the meshing geometry of key components, and visualize the operation of the mechanism. Despite the widespread use of involute gearing in mechanical transmissions, there is ongoing research into new types of gearing that offer advantages over traditional systems. The main challenges facing the industry include increasing the gear ratio in a single stage, enhancing load capacity, and improving efficiency compared to standard gear transmissions. This paper presents the results of mathematical and computer modeling, along with a comparative analysis of the eccentric-cycloid (EC) engagement with the involute gear transmission. Through analytical calculations, the energy-force parameters of the EC gearbox were determined, equivalent stresses and static deflections of transmission shafts were obtained. The paper includes the results of static analysis of elements of the new EC transmission, as well as an algorithm for computer modeling of contact stresses occurring in the engagement. Conclusively, by comparing contact stresses in traditional involute gear transmission, calculated using various analytical methods, with those in EC engagement determined through computer simulation, the advantages of the new transmission type and its potential application in mining equipment transmission mechanisms are highlighted.

Keywords: eccentric-cycloid transmissions, involute engagement, Novikov gearing, contact stresses, centrifugal forces.

Received 2.06.2024. Revised 13.08.2024. Accepted 09.09.2024. Available online 30.09.2024

¹*the corresponding author

Introduction

In modern mechanical engineering, transmission mechanisms play a pivotal role in converting the rotational motion of a driving shaft into rotational motion of another shaft with varying angular velocities and torque. To achieve optimal designs for transmission mechanisms of the new generation, it is necessary to create mathematical models of their dynamic behavior, perform computer modeling of the engagement geometry of key components, and visualize the mechanism's operation process. Concurrently with the development and improvement of the widely used involute gear engagement in mechanical transmissions, there is a continuous search for new types of engagement possessing various advantages over the involute gear system.

Modern industry faces several key challenges, including increasing the gear ratio in a single stage, enhancing load capacity, and efficiency compared to standard toothed transmissions. The standard involute profile, while widely used, has geometric limitations for external toothed wheels, including undercuts and a small radius of curvature near the base circle. Special toothed wheels with adapted profile geometry are employed to overcome these limitations, opening new possibilities in design. Technological innovations such as additive manufacturing and 5-axis milling enable cost-effective production of such special toothed wheels. Unlike involute toothed wheels, the geometric description of non-involute toothed wheels is often non-standardized, making it difficult to determine their properties. One such special tooth profile is the eccentric cycloidal gear (EC-gear), which offers advantages over standard involute gears in certain applications. This study presents a geometric description of the EC-toothed transmission based on a defined set of parameters, including parameters describing the characteristics of the gear transmission. This parametric description allows for the analytical determination of contact geometry and characteristics without load, which is useful for creating gear transmissions that meet practical needs [1-5].

When designing any gear transmissions, especially non-traditional ones, one of the important parameters is the determination of contact stresses and contact fatigue strength of the gear teeth.

In the article [6] a mathematical model of the operation of a reducer using a new type of engagement of working wheels, one of which is a helical eccentric, and the profile of the other is based on a cycloidal curve, is built. Such engagement has increased force characteristics and allows for high gear ratios in a single stage. A computer program illustrating the kinematically coherent motion of ideal geometric figures - end sections of the working mechanism, is created, allowing for the determination of numerical characteristics necessary for design, but the article lacks research results on testing the new transmission for contact strength.

The stress-strain state (SSS) of the contact engagement largely determines such an important parameter of the reducer as the efficiency coefficient. Analytical calculation of contact loads always poses significant difficulties for both involute and other engagements with a large contact area and a share of transmitted torque during sliding friction. The emergence of computer programs has enabled modeling the SSS of contact, explaining the physical essence of the engagement efficiency, and using the obtained results for verification calculations.

The objective of this article is to conduct an analysis of the static strength of elements of the new EC engagement and to determine the level of contact stresses arising in the new type of

transmission, as well as to perform a comparative analysis of existing studies on determining contact stresses.

The methodology

New EC gear reducers have established themselves as precise and rigid mechanisms, combining a good ratio of transmitted torque, overall dimensions, and weight. The main advantage is the wide range of gear ratios. Gear reducers are most commonly used in modern developing industries: CNC machines, automatic lines, transport machinery, and robotics. The efficiency coefficient of such a transmission reaches 90%.

Due to the reduction in the number of stages in the EC gear reducer, fewer bearings are used, which increases its efficiency. The developed gear reducer has a service life one and a half times longer. The driven wheel of the EC has a profile enveloping a family of circles in different phases of engagement and represents a cycloidal curve, which is an equidistant. Figure 1 shows the diagram of the EC transmission.

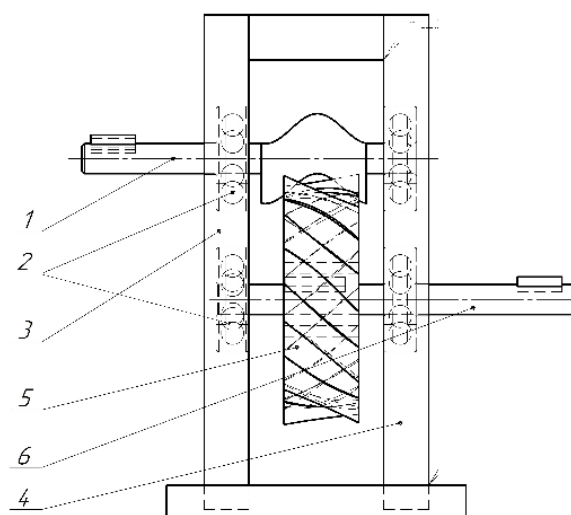


Figure 1. EC transmission: 1 – driving shaft-eccentric, 2 – bearings, 3 – left stand, 4 – right stand, 5 – driven wheel, 6 – output shaft

The profile of the driving wheel in the end section is a circle eccentrically displaced from the axis of rotation of the wheel by a distance ε . The curvilinear helical profile of the wheel is formed by sequentially and continuously displacing this circle along the axis of the wheel with simultaneous rotation around the same axis.

Geometric Model of the Mechanism

The geometric model of the EC mechanism is shown in Figure 2. The tooth profile of the smaller wheel 1 in the end section is a circle D with a diameter $d=2r$, eccentrically displaced by a distance ε relative to the axis of rotation of the wheel OO_1 . The curved profile of wheel 1 is

formed by the sequential and continuous displacement of this circle along the axis of wheel OO_1 with simultaneous rotation around this same axis. Thus, the tooth surface of wheel 1 forms a helical eccentric P.

The tooth profile of the larger wheel 2 in the end section is conjugated with the eccentrically displaced circle D of wheel 1. The profile is constructed as the envelope of a family of eccentric circles in different phases of engagement and represents a cycloidal curve G, which is an equidistant of the epicycloid [3]. The helical curved surface of the teeth of wheel 2 is formed similarly to the tooth surface of wheel 1 by the sequential and continuous rotation of the cycloidal end sections of the wheel around the axis CC_1 of wheel 2. The helical surfaces of wheels 1 and 2 have opposite directions of rotation.

The general view of the reducer with plane P perpendicular to the axes of the wheels is shown in Fig. 2, and a fragment of the contact area of the worm element with the larger wheel is shown in Fig. 2. The toothed profile of the smaller wheel 1 in the end section is a circle D of diameter $d=2r$, eccentrically shifted by a distance ε relative to the axis of rotation of the wheel OO_1 . The curvilinear profile of the wheel 1 is formed by sequentially and continuously displacing this circle along the axis of the wheel OO_1 with simultaneous rotation around the same axis. Thus, the tooth surface of wheel 1 forms a helical eccentric P.

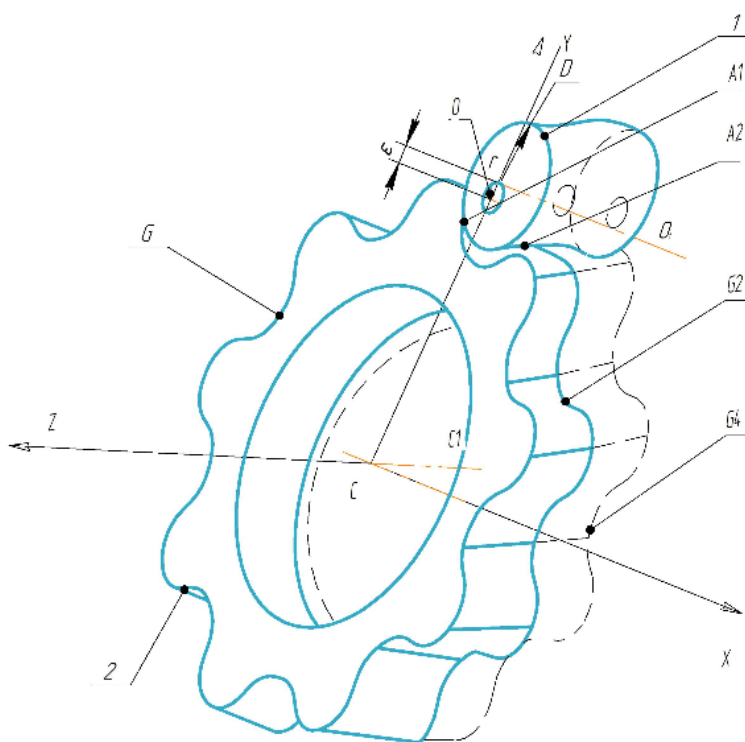


Figure 2. Diagram of the eccentric cycloid meshing

Determination of EC Transmission Parameters

The input parameters for determining the geometric dimensions of the EC gearing of the

reducer for the gantry crane movement mechanism were taken according to the technical specifications:

Gear ratio $i = 9$

Torque $T_{\max} = 2500 \text{ N}\cdot\text{m}$

Based on the fundamental equations of the epicycloid (1), (2), the parameters of the driving and driven wheels were determined.

$$X = (45 + 5) \cdot \cos \pi \cdot u + 2 \cdot \cos \left((45 + 5) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{u}{5} \right) \quad (1)$$

$$Y = (45 + 5) \cdot \sin \pi \cdot u + 2 \cdot \sin \left((45 + 5) \cdot 2 \cdot \pi \cdot \frac{u}{5} \right) \quad (2)$$

Wheel diameter $R = 150 \text{ mm}$

Number of teeth of the larger wheel $n = 16$

Profile diameter of the smaller wheel $r = 40 \text{ mm}$

Eccentricity of the eccentric shaft $e = 5 \text{ mm}$

Based on the calculated geometric parameters, engineering documentation for the EC reducer was created (Figure 3).

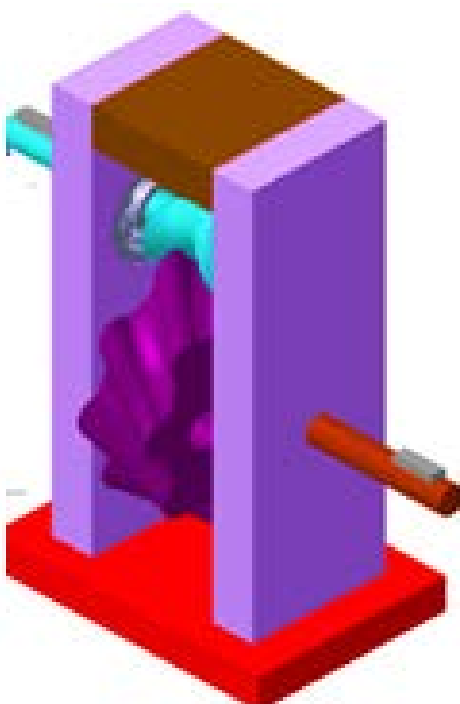


Figure 3. 3D model of the EC reducer

The designed reducer is a single-stage cylindrical reducer with a mass of 41 kg. The reducer is intended to replace a cylindrical two-stage involute reducer, which has a mass of 96 kg.

Mathematical model of contact in the new evolvent-cycloid transmission.

As seen from the construction scheme (Figure 2) of the tooth surfaces of wheels 1 and 2, the tooth profile of wheel 1 in any end section is represented by the eccentrically displaced circle D, while the profile of wheel 2 is represented by the rotated cycloidal curve G. In any end section, circle D has a contact point A with the corresponding cycloidal curve. The helical tooth of wheel 1 simultaneously has multiple contact points with the helical cycloidal tooth of wheel 2. These points form a continuous helical (with variable curvature) contact line AA₂A.

The coordinates of the contact point A of circle D with the cycloidal curve G are found as the sum of the radius vector of the center of circle D and the vector directed along the normal to this circle at the contact point, having a length equal to the radius of circle D. To find this normal, it is not necessary to resort to differentiation – it is sufficient to apply the property of cycloidal curves: the normal at an arbitrary point of such a curve passes through the pole (the point of tangency of the rolling circles used to generate the initial cycloidal curve). The line AA₂A₄ is constructed using the interpolation function of the contact point array for adjacent end sections, built into the MathCad package. The resulting vector function Kθ(θ) (θ=0,..., 2π – the angle of rotation of circle D around the axis OO₁, which produces the corresponding end section) of the points on line AA₂A₄ allows differentiation using the symbolic processor of the MathCad package to determine the curvature at each point of this line at any given time. This curvature turns out to be variable, i.e., the contact line is not helical.

According to Hertz's theory, the deformation state of contact between two cylindrical bodies of radii R₁ and R₂ arising from normal forces P, is shown in Figure 2[7-8].

When both points A₁ and A₂ of the bodies shift toward point O along the z – axis by distances δδ1 and δδ2 respectively, the average contact pressure p_m is determined by the equation:

$$p_m = a \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) / \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \quad (3)$$

Thus, the contact pressure and the stresses it induces increase proportionally to the linear size of the contact area. For cylinder contacts, the load per unit length of the axis is:

$$P = 2ap_m \quad (4)$$

Then, from equation (5), we derive:

$$p_m = \left[P \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right) / \left(\frac{1}{E_1} + \frac{1}{E_2} \right) \right]^{\frac{1}{2}} \quad (5)$$

The dimensions of the semi-axes of the contact ellipse can be determined by the expressions:

$$a = m_3 \sqrt{\frac{3\pi P(k_1 + k_2)}{4(A + B)}}; b = n_3 \sqrt{\frac{3\pi P(k_1 + k_2)}{4(A + B)}} \quad (6)$$

Here, m and n are coefficients dependent on $\cos \varphi = \frac{B - A}{B + A}$, determined by the expressions:

$$m = \sqrt[3]{\frac{2}{\pi} D(e, \varphi) \frac{A + B}{B}}; n = \sqrt{\frac{2}{\pi} [E(e, \varphi) - D(e, \varphi)] \sqrt{1 - e^2} \frac{A + B}{B}} \quad (7)$$

Where A and B are constant coefficients dependent on the magnitudes of the principal curvatures of the contacting bodies and the angle between the planes of the principal curvatures of their surfaces, and $E(e, \varphi)$ and $D(e, \varphi)$ are elliptic D integrals given by:

$$E(e, \varphi) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi} d\varphi \quad (8)$$

$$D(e, \varphi) = \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{d\varphi}{\sqrt{1 - e^2 \sin^2 \varphi}} \quad (9)$$

Here, R_1 and R_2 are the radii of the cylinder, k_1 and k_2 are constants determined by the equations:

$$k_1 = \frac{1 - \mathcal{G}_1^2}{\pi E_1}, k_2 = \frac{1 - \mathcal{G}_2^2}{\pi E_2} \quad (10)$$

From equations (5) – (6), it follows that the width of the contact ellipse and the contact pressure increase as the square root of the applied load [10-13].

Hertz's theory defines the regularities of contact stresses and deformations as the compressive load increases and determines the influence of the surface curvatures and the elasticity moduli of the contacting bodies [7].

To find the contact stresses at the points along the line, it is necessary to know the radius of curvature of the line on the larger tooth 2, which is obtained by the end section corresponding to the contact point, i.e., at a given angle ν . This line is the result of rotating the initial line G by an angle:

$$\frac{-(\mathcal{G} + \delta)}{z_2}, \quad (11)$$

where δ is the rotation angle of the generator. The radii of curvature are calculated by the usual formula:

$$R(\vartheta, \delta) = \frac{(X'(\varphi(\vartheta, \delta))^2 + Y'(\varphi(\vartheta, \delta))^2)^{\frac{3}{2}}}{X'(\varphi(\vartheta, \delta))Y''(\varphi(\vartheta, \delta)) - X''(\varphi(\vartheta, \delta))Y'(\varphi(\vartheta, \delta))}, \quad (12)$$

where:

$$\varphi(\vartheta, \delta) = \frac{z_2 + 1}{z_2}(\vartheta + \delta), \quad (13)$$

and $X(\varphi(v, \delta)), Y(\varphi(v, \delta))$ – are the coordinates of the contact point on the corresponding equidistant.

The formula for calculating the forces at the contact points at the rotor rotation angle δ takes the integral form:

$$F(\vartheta, \delta) = \frac{M \sin(\gamma(\vartheta, \delta))}{\int_{\delta}^{\delta+\pi} \sqrt{X(\varphi(\vartheta, \delta)) - a)^2 + Y(\varphi(\vartheta, \delta)) - a)^2 \sin^2(\gamma(\vartheta, \delta))} d\vartheta, \quad (14)$$

where M is the input torque on the generator, and $\gamma(v, \delta)$ is the angle between the radius vector of the contact point.

The loading scheme of the teeth in the EC gearing is schematically shown in Figure 4.

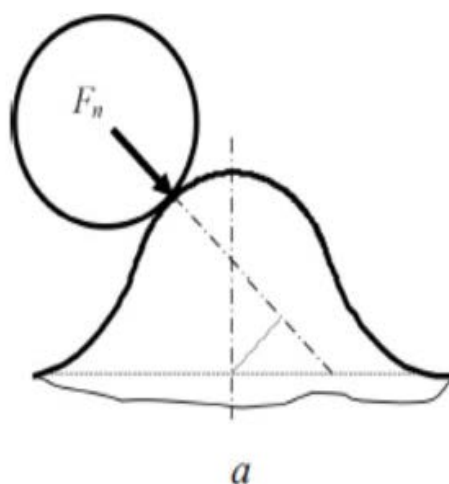


Figure 4. Tooth loading schemes

As a result of analytical calculation, the following energy-force parameters of the EC reducer were determined:

1 Output shaft rotation speed: $n=725 \text{ rpm}$

2 Torque on the input shaft of the reducer: $T=4.8 \text{ kNm}$

3 Sum of the projections of all forces in engagement of the eccentric and driven wheel teeth on the x-axis:

$$\sum F_{ix} = 4,025 \text{ kN}$$

4 Sum of the projections of forces in engagement of the teeth on the y-axis:

$$\sum F_{iy} = -2,850.5 \text{ kN}$$

5 Electric motor power: $N=24 \text{ kW}$

Computer Modeling of Contact in EC Engagement

Thanks to the application of computer technology, the possibilities for calculating contact stresses in mechanisms have significantly expanded. The NASTRAN/MARC program supports three contact models: node-to-node, node-to-surface, and surface-to-surface. Each type of model uses different types of contact elements. The finite element model recognizes the contact pair by the presence of contact elements that are applied to those parts of the model that will be analyzed for interaction. To form a contact pair, these elements use the concepts of "target surface" and "contact surface". For determining two-dimensional contact pairs, finite elements CONTA and TARGE are used, and for three-dimensional contact pairs, CONTA174 and TARGE170 are used.

The main steps for performing surface-to-surface contact analysis are outlined below:

Creating a geometric model and meshing;

Designing the contact and target surfaces;

Defining the contact and target surfaces;

Setting real constants;

Setting the necessary boundary conditions and solution options;

Solving the contact problem;

Analyzing the results. Boundary conditions for static analysis and calculation of contact stresses are summarized in Table 1.

Table 1. Boundary conditions

№	Parameter	Value
1	Material	Steel
2	Elastic modulus E	2.10^{11} Pa
3	Poisson's ratio	0.3
4	Support 1	Hinge with rotation around the model axis
5	Axial force	4.025kN
6	Radial force	2850.5kN

7	Calculation type	Static
8	Output shaft rotation speed	$n=725 \text{ rpm}$

Using this algorithm, a methodology for solving contact problems based on the finite element method in the NASTRAN/MARC software was developed [9]. This methodology was tested on contact problems, the solutions of which were obtained by classical mechanics methods.

Findings/Discussion

Analysis of Computer Modeling Results

Choosing the FEA system NASTRAN/PATRAN for strength analysis, we present the schematic diagram of the rotor (Figure 3) as a finite element model. The schematic diagram represents the elastic-mass characteristics of the mechanical system "rotor-support." There are several approaches to creating FEA models [14]. Initially, we create the geometry of the rotor according to the working drawings (Figure 5).

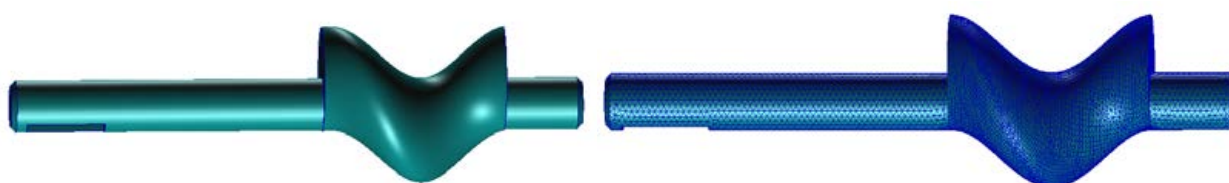


Figure 5. 3D model and finite element mesh of the components of the eccentric (EC) reducer

Equivalent stresses and static deflection values of the shaft were obtained as a result of the static strength calculation.

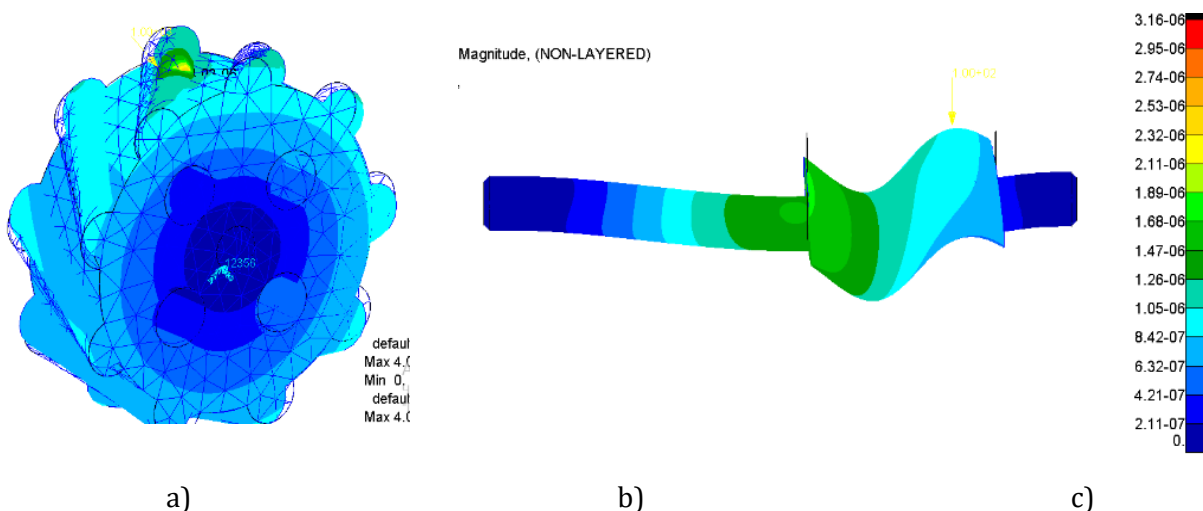


Figure 6. Stress and displacement diagrams in the driven wheel of the EC reducer

The analysis of the results revealed a sufficient safety factor for the driven wheel. According to the diagram (Figure 6a), the maximum stress $\sigma_{\max} = 195 \text{ MPa}$ and the static deflection $\delta_{cm} = 9.29 \cdot 10^{-5} \text{ m}$. The allowable stress for steel is $[\sigma_-] = 450 \text{ MPa}$, resulting in a safety factor of 2.3.

The stress analysis diagrams of the main shaft (Figure 6b) indicate a maximum stress of $\sigma_{\max} = 44 \text{ MPa}$ and a displacement of $\delta_{cm} = 3.16 \cdot 10^{-6} \text{ m}$, yielding a safety factor of 3.2.

The stress analysis diagrams of the reducer frame show a sufficient safety factor. According to the diagram (Figure 6c), the maximum stress and the static deflection $\delta_{cm} = 2.43 \cdot 10^{-6} \text{ m}$. The allowable stress for steel is $[\sigma_-] = 450 \text{ MPa}$, resulting in a safety factor of 8.3.

Determination of Contact Stresses in Meshing in the NASTRAN/MARC System

Eccentric (EC) transmissions experience significant axial loads, necessitating appropriate design of bearing assemblies. These loads lead to high contact pressures and significant friction losses, resulting in low efficiency.

Contact pressure modeling was performed using the high-level CAD system NASTRAN/MARC, a nonlinear solver for determining contact parameters between two bodies[7-8]. The results in the form of diagrams are presented in Figure 7.

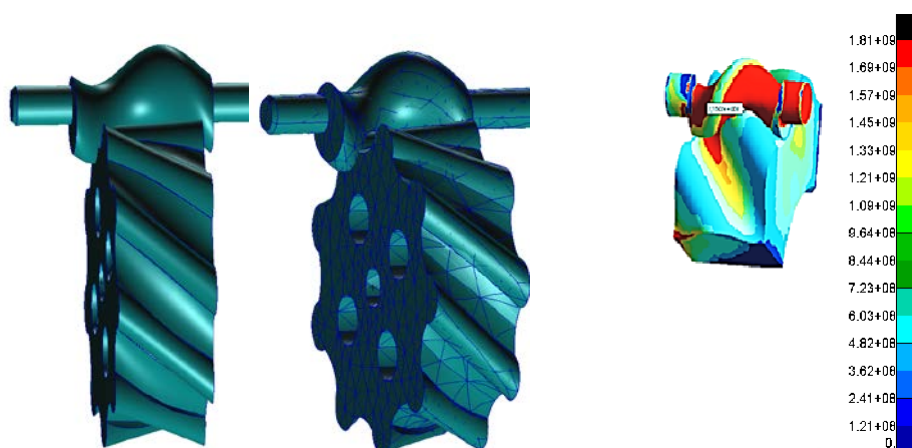


Figure 7. Contact stress diagram

The maximum pressure in the EC contact is 1810 MPa, with the greatest tensile stress on the EC wheel being 1342 MPa, and on the EC eccentric 714 MPa. The EC eccentric requires surface hardening such as cementation or SHKh15 steel with volumetric strengthening. The complex configuration of the eccentric creates a triaxial stress state, which, combined with cyclic loading, reduces its service life.

A comparative review of mathematical models of reducers with non-traditional gearing was of interest. The inadequacy of the theory in its classical form is confirmed by calculated values of p_{\max} , found using various authors' methods. Comparison of transmissions based on key parameters is presented in Table 2.

Table 2. Comparison of transmissions by basic parameters

Measured Parameters	Information Sources				
	Herz	Kovalyov M.N	Makushin M.I.	VNIINMASH	IMASH
p_{\max} , MPa	9771	5843	9818	4473	5706
$\varphi_{\sigma} = \frac{\sigma_{\max}}{\sigma_{\max}^*}$	14,00	5,50	14,06	6,41	4,60
$\varphi_F = \varphi_{\sigma}^3$	2743	167	2783	263	97

From Table 2, it follows that calculated stress values are approximately three times higher than the stress observed in EC transmissions. This increase in φ_{σ} corresponds to a decrease in the load capacity of the EC mesh due to contact stresses.

Conclusion

Based on the analysis of static strength and contact stresses, which are the main causes of failure in reducers with involute gearings, a mathematical and computer model of a reducer with involute-cycloidal gearings has been proposed. Gearings with involute-cycloidal tooth profiles, widely used, are expected to become one of the most effective and reliable types of gearings used in various mechanical systems. The new type of EC gearing has a high gear ratio with minimal dimensions. The teeth have a large effective radius of curvature, increasing contact strength, while the tooth shape ensures high bending strength. In our opinion, EC gearing can become a serious competitor not only to traditional involute gearing but also to other types of gearings currently being developed. They provide high torque transmission accuracy, minimal noise and vibration levels, and the ability to transmit large loads in compact sizes.

The material presented in our publication can be used in the design process of reducers, transmissions, and other transmission mechanisms used in mining equipment, as a primary or additional source of reference information.

The study was carried out with the financial support of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan under grant BR18574141 «Comprehensive multi-purpose program to improve energy efficiency and resource conservation in energy and mechanical engineering for the industry of Kazakhstan».

The contribution of the authors:

Isametova M.E. – the idea author who proposed the direction of the work.

Seiitkazy N.S. – contributed to the methodology of the article and completed the work.

Saidinbayeva N.D. – gathered data and contributed to editing the work.

Abilezova G.S. – contributed to visualization and analysis tasks.

References

- 1 Pabiszczak S., Kowal M. Efficiency of the eccentric rolling transmission. *Mechanism and Machine Theory*. 2022. V. 169 p. 104655-1-104655-25
- 2 Sim Y., Ramos J. The dynamic effect of mechanical losses of transmissions on the equation of motion of legged robots. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 2021. P. 2056–2062
- 3 Blagojevic, M., Djordjevic Z., Stojanovic B. A New Design of a Two-Stage Cycloidal Speed Reducer. *Journal of Mechanical Design*, 2011. 133(8): p. 085001 (7 pp.).
- 4 K. Lee, S. Hong, and J.-H. Oh, “Development of a lightweight and high-efficiency compact cycloidal reducer for legged robots,” *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 21, no. 3, 2019. DOI: 10.1007/s12541-019-00215-9.
- 5 K Olejarczyk, M Wikło, and K Kołodziejczyk, “The cycloidal gearbox efficiency for different types of bearings—sleeves vs. needle bearings,” *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 233, no. 21, pp. 7401–7411, Nov. 2019. DOI: 10.1177/0954406219859903.
- 6 Bubenchikov A.M., Shherbakov N.R. Matematicheskoe modelirovanie dinamiki novogo vida zacepleniya v peredatochnykh mehanizmah // *Izvestiya Tomskogo politehnicheskogo universiteta*. -2009. -T.314. -№5.-S.246-250
- 7 Ignacio Gonzalez-Perez A. Implementation of Hertz theory and validation of a finite element model for stress analysis of gear drives with localized bearing contact. *Mechanism and Machine Theory*. 2011. V. 46. №6. P.765-783
- 8 Benaïcha Y., Perret-Liaulet J., Beley J-D., Rigaud E.,Thouverez F. On a flexible multibody modelling approach using FE-based contact formulation for describing gear transmission error. Germany. *ResearchGate*. 2021. Hal-03178317. P. 1-18.
- 9 Zhilkin V.A. Azbuka inzhenernykh raschetov v MSC Patran-Nastran-Marc uchebnoe posobie dlja studentov vysshih uchebnykh zavedenij, obuchajushhij sja po special'nosti 190206- "Sel'skohoziyajstvennyye mashiny i oborudovanie". Sankt-Peterburg, Cheljabinsk: izd. Prospekt Nauki, 2013. -572 s.
- 10 Lustenkov M.E. Peredachi s promezhutochnymi telami kachenija: opredelenie i minimizacii poter' moshhnosti. *Mogilev: Izd vo BRU, 2010*. - 274 s.
- 11 Lustenkov M.E., Lustenkova E.S. Sfericheskaja peeredacha s promezhutochnymi telami kachenija // *Sovremennye problemy mashinostroeniya: tezisy dokladov. Mezhdunarodnyj nauch. Tehn. Konf. Gomel'*: Izd vo GGTU im. P.O.Suhogo, 2016.S. 38-39.
- 12 Ma T., Wu Y., Yang J. Mathematical modeling and computer simulation of a novel hybrid transmission system for mining trucks. *Journal of the Chinese Institute of Engineers*. 2018. №41 (3). P. 214-226
- 13 Smith J., Johnson K. Non-traditional engagement methods for enhanced drive efficiency in mining equipment: A mathematical modeling approach. *International Journal of Mining Science and Technology*. 2018. № 28(2). P. 297-305
- 14 Elemesov K.K., Isametova M.E., Sajdinbaeva N.D., Kukarcev V.V. K.K. Matematicheskoe i komp'yuternoe modelirovanie kolebanija sistemy “gruz-balka” kozlovogo krana. *Ustojchivoe razvitie gornykh territorij*. 2023. DOI:10.21177/1998-4502-2023-15-2-450-461

М.Е. Исаметова¹, Н.С. Сейітказы*¹, Н.Д. Сайдинбаева², Г.С. Әбілезова¹

¹*Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық Техникалық Зерттеу Университеті, Алматы, Қазақстан*

²*Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан*

Тау-кен техникасының жетегіне арналған дәстүрлі емес ілінісі бар берілісті математикалық және компьютерлік модельдеу

Аңдатпа. Заманауи беріліс механикасында беріліс механизмдері жетекші біліктің айналу қозғалысын бұрыштық жылдамдықтары мен моменті өзгертін басқа біліктің айналу қозғалысына түрлендіруде шешуші рөл атқарады. Жаңа буын беріліс механизмдерінің оңтайлы конструкцияларына қол жеткізу үшін олардың динамикалық өзгерістерінің математикалық үлгілерін құру, негізгі компоненттердің қосылу геометриясының компьютерлік модельдеуін жүргізу және механизмнің жұмыс процесін визуализациялау қажет. Механикалық беріліс қорабында эвольвентті берілістің кеңінен қолданылуына қарамастан, дәстүрлі жүйеден артықшылығы бар берілістердің жаңа түрлерін іздеу жалғасуда. Өнеркәсіптің алдында тұрған негізгі міндеттерге бір сатылы беріліс коэффициенттерін арттыру, жүк көтергіштігін арттыру және стандартты беріліс жетектеріне қарағанда тиімділікті арттыру кіреді. Мақалада математикалық және компьютерлік модельдеу нәтижелері келтіріледі, сондай-ақ ЭЦ-ілінісудің эвольвенттік берілісімен салыстырмалы сипаттамасы беріледі. Талдамалы есептеу нәтижесінде редуктордың ЭЦ-ның энергиялық параметрлері анықталды, баламалы кернеулер және беріліс біліктерінің статикалық иілу мәндері алынды. Мақалада ЭЦ ілінісуі бар жаңа беріліс элементтерін статикалық есептеу нәтижелері келтірілген, сондай-ақ ілінісуден туындайтын байланыс кернеулерін компьютерлік модельдеу алгоритмі келтірілген. Компьютерлік модельдеумен айқындалған ЭЦ-дағы түрлі талдамалық әдістемелер мен түйіспелі кернеулер бойынша есептелген дәстүрлі эвольвенттік берудегі түйіспелі кернеулерді салыстырмалы талдау бойынша қорытындыда берудің жаңа түрінің артықшылықтары және оны тау-кен техникасында өткізу тетіктерінде қолдану мүмкіндігі туралы қорытынды жасалады.

Түйін сөздер: эвольвенттік-циклоидтық берілістер, эвольвенттік ілінісу, Новиковтың ілінісуі, түйіспелі кернеулер, орталықтан тепкіш күштер.

М.Е. Исаметова¹, Н.С. Сейітказы*¹, Н.Д. Сайдинбаева², Г.С. Әбілезова¹

¹*Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, Алматы, Казахстан*

²*Карагандинский технический университет имени Абилкаса Сагинова, Караганда, Казахстан*

Математическое и компьютерное моделирование передачи с нетрадиционным зацеплением для привода горной техники

Аннотация. В современной механике передач механизмы передачи играют ключевую роль в преобразовании вращательного движения ведущего вала в вращательное движение другого вала с изменяющимися угловыми скоростями и крутящим моментом. Для достижения оптимальных

конструкций механизмов передачи нового поколения необходимо создавать математические модели их динамического поведения, проводить компьютерное моделирование геометрии зацепления ключевых компонентов и визуализировать процесс работы механизма. Несмотря на широкое использование эвольвентного зацепления в механических передачах, продолжают поиски новых типов зацепления, обладающих преимуществами по сравнению с традиционной системой. Основные задачи, стоящие перед отраслью, включают увеличение передаточного числа в одной ступени, повышение грузоподъемности и эффективности по сравнению со стандартными зубчатыми передачами. В статье приводятся результаты математического и компьютерного моделирования, а также дается сравнительная характеристика ЭЦ-зацепления с эвольвентной передачей. В результате аналитического расчета были определены энергосиловые параметры ЭЦ редуктора, получены эквивалентные напряжения и значения статических прогибов валов передачи. В статье приведены результаты статического расчета элементов новой передачи с ЭЦ зацеплением, а также приведен алгоритм компьютерного моделирования контактных напряжений, возникающих в зацеплении. В заключении по сравнительному анализу контактных напряжений в традиционной эвольвентной передаче, рассчитанных по различным аналитическим методикам и контактных напряжений в ЭЦ зацеплении, определенных компьютерным моделированием делается вывод о преимуществах нового вида передачи и возможности ее применения в передаточных механизмах в горной технике.

Ключевые слова: эвольвентно-циклоидные передачи, эвольвентное зацепление, зацепление Новикова, контактные напряжения, центробежные силы.

References

- 1 Pabiszczak S., Kowal M. Efficiency of the eccentric rolling transmission. *Mechanism and Machine Theory*. 2022. V. 169 p. 104655-1-104655-25
- 2 Sim Y., Ramos J. The dynamic effect of mechanical losses of transmissions on the equation of motion of legged robots. *IEEE International Conference on Robotics and Automation*. 2021. P. 2056–2062
- 3 Blagojevic, M., Djordjevic Z., Stojanovic B. A New Design of a Two-Stage Cycloidal Speed Reducer. *Journal of Mechanical Design*, 2011. 133(8): p. 085001 (7 pp.).
- 4 K. Lee, S. Hong, and J.-H. Oh, "Development of a lightweight and high-efficiency compact cycloidal reducer for legged robots," *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, vol. 21, no. 3, 2019. DOI: 10.1007/s12541-019-00215-9.
- 5 K Olejarczyk, M Wikło, and K Kołodziejczyk, "The cycloidal gearbox efficiency for different types of bearings—sleeves vs. needle bearings," *Proceedings of the Institution of Mechanical Engineers, Part C: Journal of Mechanical Engineering Science*, vol. 233, no. 21, pp. 7401–7411, Nov. 2019. DOI: 10.1177/0954406219859903.
- 6 Bubenchikov A.M., Shherbakov N.R. *Matematicheskoe modelirovanie dinamiki novogo vida zaceplenija v peredatochnyh mehanizmah // Izvestija Tomskogo politehnicheskogo universiteta*. -2009. -Т.314. -№5.-S.246-250
- 7 Ignacio Gonzalez-Perez A. Implementation of Hertz theory and validation of a finite element model for stress analysis of gear drives with localized bearing contact. *Mechanism and Machine Theory*. 2011. V. 46. №6. P.765-783

8 Benaïcha Y., Perret-Liaulet J., Beley J-D., Rigaud E.,Thouverez F. On a flexible multibody modelling approach using FE-based contact formulation for describing gear transmission error. Germany. ResearchGate. 2021. Hal-03178317. P. 1-18.

9 Zhilkin V.A. Azbuka inženernykh raschetov v MSC Patran-Nastran-Marc uchebnoe posobie dlja studentov vysshih uchebnykh zavedenij, obuchajushhija po special'nosti 190206- "Sel'skoho zjajstvennyye mashiny i oborudovanie". Sankt-Peterburg, Cheljabinsk: izd. Prospekt Nauki, 2013. -572 s.

10 Lustenkov M.E. Peredachi s promezhutochnymi telami kachenija: opredelenie i minimizacii poter' moshhnosti. Mogilev: Izd vo BRU,2010. - 274 s.

11 Lustenkov M.E., Lustenkova E.S. Sfericheskaja peeredacha s promezhutochnymi telami kachenija // Sovremennye problemy mashinostroenija: tezisy dokladov. Mezhdunarodnyj nauch. Tehn. Konf. Gomel': Izd vo GGTU im. P.O.Suhogo, 2016.S. 38-39.

12 Ma T., Wu Y., Yang J. Mathematical modeling and computer simulation of a novel hybrid transmission system for mining trucks. Journal of the Chinese Institute of Engineers. 2018. №41 (3). P. 214-226

13 Smith J., Johnson K. Non-traditional engagement methods for enhanced drive efficiency in mining equipment: A mathematical modeling approach. International Journal of Mining Science and Technology. 2018. № 28(2). P. 297-305

14 Elemesov K.K., Isametova M.E., Sajdinbaeva N.D., Kukarcev V.V. K.K. Matematicheskoe i komp'juternoe modelirovanie kolebanija sistemy "gruz-balka" kozlovogo krana. Ustojchivoe razvitie gornyh territorij. 2023. DOI:10.21177/1998-4502-2023-15-2-450-461

Information about the authors:

Isametova M.E. – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Department of Mechanical Engineering, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, 22a Satpayev str., 050013, Almaty, Kazakhstan

Seiitkazy N.S. – corresponding author, Doctoral student of the Department of Mechanical Engineering, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, 22a Satpayev str., 050013, Almaty, Kazakhstan

Saidinbayeva N.D. – Master's degree, Doctoral student of the Department of «Transport Engineering and Logistics Systems», Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov, Ave. Nursultan Nazarbayev, 56, 100027, Karaganda, Kazakhstan,

Abilezova G.S. – PhD, assistant of the Department of Mechanical Engineering, Kazakh National Research Technical University named after K. I. Satpayev, 22a Satpayev str., 050013, Almaty, Kazakhstan

Исаметова М.Е. – т.ғ.к., машина жасау кафедрасының доценті, Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Сәтбаев көшесі, 22а, 050013, Алматы, Қазақстан

Сейітқазы Н.С. – хат-хабар авторы, машина жасау кафедрасының докторанты, Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Сәтбаев көшесі, 22а, 050013, Алматы, Қазақстан

Сайдинбаева Н.Д. – магистр, көлік техникасы және логистикалық жүйелер кафедрасының, докторанты, Абылқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Нұрсұлтан Назарбаев, 56, 100027, Қарағанды, Қазақстан

Әбілезова Ғ.С. – PhD, машина жасау кафедрасының ассистенті, Қ.И.Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Сәтбаев көшесі, 22а, 050013, Алматы, Қазақстан

Исаметова М.Е. – Кандидат технических наук, доцент кафедры машиностроение, Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет им. К. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22а, 050013, Алматы, Казахстан

Сейітқазы Н.С. – автор для корреспонденции, Докторант кафедры машиностроение, Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет им. К. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22а, 050013, Алматы, Казахстан

Сайдинбаева Н.Д. – магистр, докторант кафедры «Транспортная техника и логистические системы», Карагандинского технического университета имени Абылкаса Сагинова, пр. Нурсултана Назарбаева, 56, 100027, Караганда, Казахстан

Әбілезова Ғ.С. – PhD, ассистент кафедры Машиностроение, Казахский Национальный Исследовательский Технический Университет им. К. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22а, 050013, Алматы, Казахстан



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



IRSTI 621.01

Review article

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-206-218>

3D-printing in the automotive industry

A.S. Ibraim*^{ORCID}, B.N. Absadykov^{ORCID}

Satbayev University, Almaty, Kazakhstan

(E-mail: *ibraimaiibek@gmail.com)

Abstract. Additive manufacturing is of great importance in the design and manufacture of automobiles. The number of applications for 3D printing in manufacturing continues to expand on an annual basis. In the recent past, 3D printing was primarily utilized for the fabrication of prototypes. However, there has been a notable shift in the automotive manufacturing sector, with an increasing number of manufacturers adopting the technology for the production of significant automotive components. Additive manufacturing is employed to create design iterations, improve quality through cost-effective prototyping, and produce custom tooling parts. However, there are other areas of 3D-printing in the automotive industry that are more radically transforming products and supply chains. Additive technologies and the new materials used enable the creation of various combinations, both for producing parts with increased strength characteristics and for using soft materials in the interior of the cabin. Additive manufacturing aims to improve manufacturing processes and produce high-quality products in a short time. This article describes the main trends in the integration of 3D-printing technologies into the design and manufacturing processes of cars across various classes and companies. The main purpose of this article is to highlight the key aspects of additive manufacturing in the automotive industry. The use of these trends opens up new opportunities in the automotive industry of Kazakhstan.

Keywords: Additive manufacturing, 3D-printing, manufacturing, automotive, mechanical engineering, metal printing.

Received 17.06.2024. Revised 13.08.2024. Accepted 09.09.2024. Available online 30.09.2024

¹*the corresponding author

Introduction

Speeding up the product design phase during new product development is key in any industry. Fortunately, at this stage, 3D-printing can replace expensive and time-consuming CNC (Computer numerical control) manufacturing. More precisely, it allows designers to go through several iterations at minimal cost before deciding on the final product. The process is as follows: once designers have identified a user's need and generated ideas to meet that need, they develop a prototype. The next step is to test this prototype in order to improve its design. We also call this iterative process rapid prototyping [1].

Rapid prototyping begins with the creation of a computer-aided design (CAD) file for the first iteration of the part. The user can then import the part design file into the 3D-printer software and print it. The prototype will be ready to be tested, evaluated, and modified for the next iteration within a few hours to 1-2 days.

However, many 3D-printers are limited to prototype-quality parts only. When using these printers, the design may need to be modified to meet traditional manufacturing constraints. This was the case a few years ago [2]. At the moment, there are companies in the field of mechanical engineering that integrate additive technologies for mass production. Someone makes complex parts, someone combines several units into one, someone is looking for ways to lighten the part without loss and strength [3].

The methodology

The Volkswagen Group is actively exploring HP's (Hewlett Packard) high-performance binder blasting technology for production vehicles. Most of Volkswagen's additive manufacturing (AM) activities are carried out in a state-of-the-art 3D-printing center located on the premises of the plant in Autostadt, Wolfsburg. The facility serves as a center for testing and learning about AM technology, as well as tooling and finished parts manufacturing. Figure 1 shows examples of the company's work on mass printing of metal parts. High-volume manufacturing is usually done in additive manufacturing in partnership with AM's external additive manufacturing services. Printed Volkswagen metal parts shown in figure1.



Figure 1. Bulk printing of metal parts [3]

At the end of 2018, Volkswagen expanded its AM capabilities at the Wolfsburg plant by implementing the Additive Industries MetalFab 1 system for 3D-printing state-of-the-art tools and spare parts. An important achievement resulting from a recent partnership with HP and GKN (Guest, Keen and Nettlefolds Limited) is the introduction of HP's new metal binder blasting technology. This cooperation enables Volkswagen's tooling division at the Wolfsburg plant to engage in the actual 3D series production of numerous parts. Although specific parts have not yet been definitively identified (although a sample of 10,000 miniature models has been made for sale), initial expectations suggest that they will be between 2 and 5 cm long and are mostly made of steel alloys.

In addition, the development of electric vehicles (EVs) serves as a driving force for the integration of new production technologies into Volkswagen. During the development of the R Pikes Peak electric racing car, Volkswagen engineers made extensive use of 3D-printing to produce many individual parts. These parts, including cable mounts and switches, are effectively used in test drives and finished race cars, highlighting the practical application of additive manufacturing in the context of electric vehicles [4].

Indeed, the advantage of using AM is the potential to produce components with less weight to create vehicles that consume less fuel. Thus, industrial design software plays a central role. Over the years, CAD and CAM (Computer-aided manufacturing) solutions have improved significantly, especially for additive manufacturing. These often include generative design, topology optimization, and lattice creation tools that reduce the overall weight of parts while maintaining or improving their functionality. Lighter parts often turn out to be more complex. But because AM is not limited in terms of design freedom, unlike traditional methods, complexity is not an issue. It should be noted that simplifying parts is also possible thanks to 3D-printing, by combining multiple parts into a single design. Thus, the complexity of assembly could be reduced in the long run if a large number of these parts were to be produced.

Additive manufacturing also means more personalization options. In fact, some luxury car manufacturers are already using 3D-printing to create designs tailored to customer requirements. Traditional manufacturing methods such as CNC or injection molding would not be able to deliver unique parts in a competitive timeframe. The cost of manufacturing such parts would also be significantly different. In addition, personalization can also be used to deliver spare parts, such as repairing an old model car [5].

Ford's aluminum intake manifold, made using GE (General Electric) Additive's Concept Laser X LINE 2000R 3D-printing technology, was installed in a 1977 Hoonitruck. This part, shown in Figure 2, designed to supply a fuel-air mixture to the engine cylinders, is the largest automotive part ever produced by 3D-printing. The printing process took five days.



Figure 2. 3D-printed Ford aluminum intake manifold [6]

Ford is a leading research center in the field of industrial implementation of additive manufacturing. As early as 1986, the company invested in SLA 3 (Stereolithography), the first-ever 3D-printer. Ford claimed the superiority of this technology in creating new prototype parts with greater speed and efficiency. To date, the company has produced more than 500,000 parts and has achieved significant savings in cost and operating time. At its advanced manufacturing center in Detroit, Ford has invested in a variety of 3D-printing technologies such as FDM (Fused deposition modeling), SLS (selective laser sintering), and powder 3D-printers [6].

In 2020, the BMW Group opened an additive manufacturing campus in the immediate vicinity of Munich. The campus cost around €15 million to build and currently has around 50 industrial plants for metal and plastics processing. The production of prototypes, serial parts, research and development and training of employees without tooling production is carried out here.

This significant financial contribution is a testament to the BMW Group's trust in 3D-printing technology. Like other automakers, the company began investing in additive manufacturing as early as 1991 to create prototype concept cars. In the following years, small series of parts for various cars were launched, including DTM, Rolls-Royce Phantom, BMW i8 Roadster and MINI racing cars. In total, 300,000 3D parts were printed in a year [7].

A study by Deloitte found that the changes described above will have an impact on supply chains. Today's equipment manufacturers are increasingly outsourcing their components. The report notes: "With the development of equipment manufacturers' products, there is a double change: a decrease in the length of supply chains and an increase in the contribution of manufacturers themselves to value creation" [8].

An important aspect of additive manufacturing can be the simplification and reduction of the complex supply chains that characterize the modern automotive industry. Manufacturers work with a variety of suppliers to source a variety of automotive components and are constantly striving to shorten the length of their supply chains.

In this way, companies can take advantage of additive manufacturing to transform supply chains by producing on-site and reducing spare parts inventory [8].

Generative design is a process of design research. Designers or engineers enter design goals into generative design software, as well as parameters such as performance or spatial requirements, materials, manufacturing methods, and cost constraints. The software explores all possible solutions, quickly generating alternative designs. It tests and learns from each iteration, determining what works and what doesn't [9].

Using generative design and additive manufacturing, General Motors was able to combine eight different seat bracket components into a single 3D-printed part, Figure 3.



Figure 3. Generative design for General Motors [10]

The combination of generative design and additive manufacturing has the potential to radically transform the automotive industry, overcoming the historical limitations of traditional manufacturing tools. These innovations enable the creation of complex geometries and organic structures with minimal capital investment, opening up new horizons for vehicle design and manufacturing [10].

Findings/Discussion

Over the years, improvements in material manufacturing technology have made it possible to use more materials for the AM process. Automotive parts are typically made of high-performance polymers, carbon fiber-reinforced thermoplastics, and metals. Equipment manufacturers actively sought to use lighter materials such as carbon fiber and aluminum in the car body. Thus, materials adapted for additive manufacturing can allow more properties to be incorporated into the final products, but are also crucial in the development of functional prototypes.

BASF Forward AM is working together with its customers and OEMs to develop innovative products based on the implementation of additive manufacturing. Forward AM has worked with Daimler to develop a new engine mount that reduces vibration transmission and provides

maximum passenger comfort. In the last decade, engine mounts have mainly been made of fiber-reinforced polymers molded under pressure. However, the need for shorter development cycles and lower costs has put this traditional design process and materials at risk. BASF Forward AM has eliminated the very costly need for new molds with each design modification by using AM technologies in the process. The challenge was to meet the stringent thermal and mechanical performance requirements under the test conditions. They needed a very rigid and heat-resistant material. The ideal solution was Ultrasint PA6 MF (mineral-filled polyamide 6 superior to PA11 and PA12), which produced test-ready prototypes in less than 48 hours (instead of several weeks with injection molding). Although the design of the 3D-printed part looked different, it could be used like the original as a fully functional prototype during the development phase when there was no injection molding part available. Thus, the key point was to find a suitable substitute material to replicate the characteristics of the injection molded part [11].

In the electric vehicle sector, Olli is present and has developed an autonomous electric minibus using 3D-printing technology. This minibus was created in 2016 by Local Motors. The manufacturer claims that approximately 80% of the components of this vehicle were made with a 3D-printer, resulting in a 90% reduction in overall production time. The maximum speed of the minibus is limited to 40 km/h, making the Olli an ideal vehicle for use in urban centers, university campuses and hospitals. Olli bus shown at figure 4. Olli's predecessor was the Strati roadster, a two-seater electric car in which 75% of the parts were also produced using 3D-printing [12].



Figure 4. 3D printed Olli minibus [12]

In addition, as the demand for connected vehicles grows, so does the need for electronic devices such as sensors and antennas inside the vehicle. With this increase comes the need to design and manufacture more compact and complex electronics. Based on micro and nanoscale 3D-printing technologies, it is possible to independently develop more complex electronic

components that can be directly embedded in the car. Additive 3D-printing can reduce the cost and development time to create these devices.

As already noted, customization provides a wide range of possibilities. For example, MINI customers can now personalize their vehicles by creating a unique design for the side strip and side inserts in the cabin. More than 140,000 components have been 3D-printed in various BMW Group projects [13]. The table 1 shows the range of materials that are used in the automotive industry, as well as the respective applications.

Table 1. AM materials suitable for automotive applications [12]

Application	Process	Material	Functions	Example Part
Under the hood	SLS	Nylon	Heat-resistant functional parts	Battery Cover
Interior accessories	Service Level Agreement (SLA)	Resin	Customized cosmetic components	Prototype console
Duct	SLS	Nylon	Flexible air ducts and bellows	Air conditioning ducts
Full-scale panels	Industrial Service Level Agreement	Resin	Oversized parts with a surface finish comparable to injection molding, allowing grinding and painting	Front bumper
Molded metal brackets and handles	SLA & Cast	Wax	Metal parts made from 3D-printed templates	Generator Mounting Bracket
Complex metal components	DMLS	Metal	Durable, lightweight, functional metal parts	Wishbones
Framing	Material blasting	Photopolymer	Custom End-Use Screen Frames	Dashboard interface
Traffic light	Service Level Agreement (SLA)	Resin	Fully transparent models with high detail	Prototype headlights

Designed and assembled in Los Angeles, the concept and process behind the Czinger 21C hypercar is an innovative approach to car manufacturing. The company's pioneering Divergent Adaptive Production System (DAPS) dramatically automates the process of designing and creating most parts for the 21C. It uses artificial intelligence to optimize the shape and design of parts, simulating natural samples to improve strength and efficiency. This process takes minimal time, reducing the manual labor of engineers and ensuring the creation of parts with unique shapes using additive technologies. The assembled chassis of the Czinger C21 model is shown in Figure 5.



Figure 5. Printed Czinger C21 chassis [14]

DAPS allows you to create parts using one of the largest 3D-printers in the world, powered by 12 lasers, which significantly increases the speed of printing. This method also minimizes material waste through an optimized production process. Most of the parts, with the exception of some elements such as carbon fiber panels, wheels and interior elements, are produced using 3D-printing technology.

Manufacturing involves combining the created parts to form finished components. The latest adhesives developed by the company are used to connect the elements, which provide a strong bond, bypassing traditional fastening mechanisms. Assembly is carried out by a robot with an integrated 3D-printer, which, thanks to the optimization of the process by artificial intelligence, can quickly switch between different additive manufacturing tasks with minimal delays. This unique approach to production ensures high efficiency and quality of the final product. Figure 6 shows a complex shape of motor mounts printed from metal using the topological optimization of the model [14].



Figure 6. Printed part of the Czinger C21 motor [14]

In recent years, automakers have had to master new business models to achieve growth. In Jabil's report on trends in the automotive industry, you can read that 71% of automotive companies have a timeline to market of less than 2 years. Many are turning to new technologies, including additive manufacturing, to maintain short development cycles and reduce costs. Vehicle electrification is also of interest, with about 50% of automakers aiming to become leaders in all-electric vehicles (EVs) in the near future [15]. As the industry moves away from internal combustion engines, 3D-printing is becoming an increasingly popular solution capable of accelerating the development of lighter parts for electric vehicles. Indeed, low weight is crucial for electric vehicles, as it directly affects battery life.

The dawn of mainstream electric vehicles has arrived, and almost all major automakers are now offering all-electric alternatives to traditional internal combustion vehicles. This is in line with the major sustainability trends in today's world, where the use of fossil fuels and other fossil fuel-dependent technologies is being reduced. Additive manufacturing technologies, which were used in the past by the automotive industry, now open up opportunities for the automotive sector, where great innovations can be achieved through its implementation. Parts manufactured with additives provide a comprehensive, optimized design as well as improve material efficiency. Moreover, system-wide benefits are also possible and promised in terms of optimizing supply chains and logistics operations. This article presents these advantages, the reason for the growing interest and future prospects for integrated additive manufacturing based on metals and polymers in additive manufacturing in traditional automotive production chains. The trend shows a high degree of integration of additive technologies with modern production facilities at automotive plants. There is a lot of progress in the use of 3D-printing technologies in the creation of prototypes and experimental samples to full-fledged industrial and mass parts.

Conclusion

In conclusion, the forecast for the development of additive technologies in the automotive industry promises profound changes. These technologies represent a promising area that has the potential to revolutionize the way vehicles are designed, manufactured and operated. They provide the ability to create individually customizable parts and components, which improves the adaptability of vehicles to different needs and operating conditions. Additive manufacturing can also significantly reduce weight and increase the strength of parts, resulting in more efficient and environmentally friendly vehicles.

In addition, these innovations reduce the time and cost of producing new models, allowing for a more flexible and faster response to market requirements and design changes. Overall, automotive additive manufacturing represents a key enabler for achieving new levels of innovation, quality, and competitiveness in the industry. By optimizing the topology, it is possible to reduce the weight of parts without losing their strength, which is now actively used in motorsport. The use of high-end materials such as titanium allows for the printing of ultra-strong and lightweight parts by combining multiple complex components into a single unit.

In the coming years, additive manufacturing can be expected to become an integral part of the automotive manufacturing process. The automotive industry in Kazakhstan is developing

rapidly; recently, new plants and factories have been opening more and more often. And it means that additive manufacturing can be used to optimize manufacturing processes. Advances in this area will contribute to the development of new models and solutions that can meet the growing needs of both consumers and manufacturers. In this way, additive manufacturing can become a driving force for progress in the automotive industry, opening up new horizons for engineering innovation and sustainability. Generative design become more popular and more manufacturer around the world will use it in their vehicles.

The contribution of the authors.

Ibraim Alibek Samatuly – text writing, data collection, data sorting, trend analysis and technology application of additive technologies in the automotive industry

Absadykov Bakhyt Narekbayevich – scientific supervisor of the doctoral student – checking the analysis and data, summarizing, concluding, checking the integrity of the article.

References

1. Xue Yan a, P Gu - Rapid prototyping Computer-Aided Design Volume 28, Issue 4, April 1996, Pages 307-318
2. Kaufui V. Wong and Aldo Hernandez – A Review of Additive Manufacturing International Scholarly Research Network ISRN Mechanical Engineering Volume 2012, Article ID 208760, 10 pages doi:10.5402/2012/208760
3. Andreas Gebhardt – Understanding Additive Manufacturing Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing, ISBNs 978-1-56990-507-41-56990-507-X
4. Available at: <https://www.additiveindustries.com/news/news-and-press/volkswagen-group-expands-additive-manufacturing-capabilities-with-metalfab>
5. Mariano Jiménez, Luis Romero, Iris A. Dom-nguez, Mar-a del Mar Espinosa and Manuel Dom-nguez - Printing Methods and Future Prospects - Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Complexity Volume 2019, Article ID 9656938, 30 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/9656938>
6. ANDREW WENDLER - Ford Engineers Create 3D-Printed Aluminum Intake for Ken Block's Ford F-150 Hoonitruck BY PUBLISHED: JAN 30, 2019. Available at: <https://www.caranddriver.com/news/a26077419/ken-block-ford-f-150-hoonitruck-3d-print/>
7. ADDITIVE MANUFACTURING CAMPUS: COMPONENTS STRAIGHT FROM THE PRINTER. <https://www.bmwgroup.com/en/news/general/2020/additive-manufacturing.html>
8. Deloitte Additive Manufacturing for spare parts: an introduction <https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/energy-resources-industrials/articles/industry40-additive-manufacturing-for-spare-parts.html>
9. Autodesk <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>
10. Autodesk <https://www.autodesk.com/customer-stories/general-motors-generative-design>
11. BASF 3D Printing Solutions Exhibits Industrial Additive Manufacturing Solutions at Formnext 2019 under New Brand Name. <https://www.basf.com/tw/en/media/news-releases/global/2019/11/p-19-385.html>
12. Kirsten Korosec - Meet Olli 2.0, a 3D-printed autonomous shuttle. / 8:00 PM GMT+6•August 31, 2019 <https://techcrunch.com/2019/08/31/come-along-take-a-ride/>

13. Why does BMW bet on additive manufacturing? Published on December 24, 2018 by Michelle J. <https://www.3dnatives.com/en/bmw-3d-printing-additive-manufacturing-241220184/>

14. Daniel Golson – Czinger 21C First Ride Review: 3D-Printed Absurdity. <https://www.cnet.com/roadshow/news/czinger-21c-hypercar-first-ride-review-3d-printed-divergent-manufacturing/>

15. Jabil Automotive Electronics Manufacturer. <https://www.jabil.com/blog/formula-1-3d-printing.html>.

Ә.С. Ибраим*, Б.Н. Абсадықов

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

Автомобиль өнеркәсібіндегі 3D баспа

Андатпа. Аддитивті өндіріс автомобильдерді жобалау мен өндіруде үлкен маңызға ие. Жылдан жылға өндірісте 3D басып шығару үшін пайдалану жағдайларының саны өсуде. Бірнеше жыл бұрын 3d басып шығару негізінен прототиптер мен макеттерді жасау үшін қолданылған, бірақ қазір көбірек өндірушілер автомобильдің негізгі компоненттерін басып шығара бастады. Аддитивті өндіріс дизайн итерацияларын жасау, үнемді прототиптеу арқылы сапаны жақсарту және тапсырыс бойынша құрал-саймандар бөлшектерін жасау үшін қолданылады. Дегенмен, автомобиль өнеркәсібінде өнімдер мен жеткізу тізбегін түбегейлі өзгертетін 3D басып шығарудың басқа да салалары бар. Аддитивті технологиялар мен қолданылатын жаңа материалдар беріктік сипаттамалары жоғарылаған бөлшектерді шығару үшін де, кабинаның ішкі бөлігінде жұмсақ материалдарды пайдалану үшін де әртүрлі комбинацияларды жасауға мүмкіндік береді. Аддитивті өндіріс өндірістік процестерді жақсартуға және қысқа мерзімде жоғары сапалы өнім шығаруға бағытталған. Бұл мақалада әртүрлі класстар мен компаниялардағы автомобильдерді жобалау және өндіру процестеріне 3D басып шығару технологияларын біріктірудің негізгі тенденциялары сипатталған. Бұл мақаланың негізгі мақсаты-автомобиль өнеркәсібіндегі қоспалар өндірісінің негізгі аспектілерін бөліп көрсету. Осы үрдістерді пайдалану Қазақстанның автомобиль өнеркәсібінде жаңа мүмкіндіктер ашады.

Түйін сөздер: Аддитивті өндіріс, 3d басып шығару, өндіріс, автомобиль, машина жасау.

А.С. Ибраим*, Б.Н. Абсадықов

Satbayev University, Алматы, Қазақстан

3D-печать в автомобильной промышленности

Аннотация. Аддитивное производство имеет огромное значение при проектировании и производстве автомобилей. С каждым годом количество вариантов использования 3D-печати в производстве продолжает расти. Несколько лет назад 3D-печать в основном использовалась для создания прототипов, но сейчас все больше и больше производителей начинают печатать основные компоненты автомобилей. Аддитивное производство используется для создания различных вариантов дизайна, повышения качества за счет экономичного прототипирования

и изготовления деталей на заказ. Однако в автомобильной промышленности существуют и другие области 3D-печати, которые более радикально трансформируют продукцию и цепочки поставок. Аддитивные технологии и используемые новые материалы позволяют создавать различные комбинации как для изготовления деталей с повышенными прочностными характеристиками, так и для использования мягких материалов в интерьере салона. Аддитивное производство направлено на совершенствование производственных процессов и производство высококачественной продукции в короткие сроки. В этой статье описаны основные тенденции в области интеграции технологий 3D-печати в процессы проектирования и производства автомобилей различных классов и компаний. Основная цель этой статьи - осветить ключевые аспекты аддитивного производства в автомобильной промышленности. Использование этих тенденций открывает новые возможности в автомобильной промышленности Казахстана.

Ключевые слова: Аддитивное производство, 3D-печать, обрабатывающая промышленность, автомобилестроение, машиностроение, печать по металлу.

References

1. Xue Yan a, P Gu - Rapid prototyping Computer-Aided Design Volume 28, Issue 4, April 1996, Pages 307-318
2. Kaufui V. Wong and Aldo Hernandez - A Review of Additive Manufacturing International Scholarly Research Network ISRN Mechanical Engineering Volume 2012, Article ID 208760, 10 pages doi:10.5402/2012/208760
3. Andreas Gebhardt - Understanding Additive Manufacturing Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Rapid Manufacturing, ISBNs 978-1-56990-507-41-56990-507-X
4. Available at: <https://www.additiveindustries.com/news/news-and-press/volkswagen-group-expands-additive-manufacturing-capabilities-with-metalfab>
5. Mariano Jiménez, Luis Romero, Iris A. Dom-nguez, Mar-a del Mar Espinosa and Manuel Dom-nguez - Printing Methods and Future Prospects - Additive Manufacturing Technologies: An Overview about 3D Complexity Volume 2019, Article ID 9656938, 30 pages. <https://doi.org/10.1155/2019/9656938>
6. ANDREW WENDLER - Ford Engineers Create 3D-Printed Aluminum Intake for Ken Block's Ford F-150 Hoonitruck BY PUBLISHED: JAN 30, 2019. Available at: <https://www.caranddriver.com/news/a26077419/ken-block-ford-f-150-hoonitruck-3d-print/>
7. ADDITIVE MANUFACTURING CAMPUS: COMPONENTS STRAIGHT FROM THE PRINTER. <https://www.bmwgroup.com/en/news/general/2020/additive-manufacturing.html>
8. Deloitte Additive Manufacturing for spare parts: an introduction <https://www2.deloitte.com/nl/nl/pages/energy-resources-industrials/articles/industry40-additive-manufacturing-for-spare-parts.html>
9. Autodesk <https://www.autodesk.com/solutions/generative-design>
10. Autodesk <https://www.autodesk.com/customer-stories/general-motors-generative-design>
11. BASF 3D Printing Solutions Exhibits Industrial Additive Manufacturing Solutions at Formnext 2019 under New Brand Name. <https://www.basf.com/tw/en/media/news-releases/global/2019/11/p-19-385.html>
12. Kirsten Korosec - Meet Olli 2.0, a 3D-printed autonomous shuttle / 8:00 PM GMT+6•August 31, 2019 <https://techcrunch.com/2019/08/31/come-along-take-a-ride/>

13. Why does BMW bet on additive manufacturing? Published on December 24, 2018 by Michelle J. <https://www.3dnatives.com/en/bmw-3d-printing-additive-manufacturing-241220184/>

14. Daniel Golson – Czinger 21C First Ride Review: 3D-Printed Absurdity. <https://www.cnet.com/roadshow/news/czinger-21c-hypercar-first-ride-review-3d-printed-divergent-manufacturing/>

15. Jabil Automotive Electronics Manufacturer. <https://www.jabil.com/blog/formula-1-3d-printing.html>

Information about the authors:

Ibraim Alibek Samatuly – 3rd year doctoral student, Chief Engineer of PolytechPoint, ibraimaiibek@gmail.com Satbaev University, Department of Mechanical Engineering, Satbayev st 22, 050013, Almaty Kazakhstan

Absadykov Bakhyt Narikbaevich – Doctor of Technical Sciences, Professor, Chief Researcher at the Center for Collaboration with Subsoil Users Satpayev University b_absadykov@mail.ru Satbaev University, Satbayev st 22, 050013, Almaty Kazakhstan

Ибраим Әлібек Саматұлы – докторант 3 курса, главный инженер PolytechPoint, ibraimaiibek@gmail.com Satbayev University, кафедра машиностроения, Сәтбаева 22, 050013, Алматы, Қазақстан

Абсадықов Бақыт Нарикбаевич – доктор технических наук, профессор, Главный научный сотрудник Центра по коллаборации с недропользователями Сәтбаев Университета b_absadykov@mail.ru, Satbayev University, Сәтбаева 22, 050013, Алматы, Қазақстан

Ибраим Әлібек Саматұлы – 3 курс докторанты, PolytechPoint бас инженері, ibraimaiibek@gmail.com Satbayev University, машина жасау кафедрасы, Сәтбаев 22, 050013, Алматы, Қазақстан

Әбсадықов Бақыт Нәрікбайұлы – техника ғылымдарының докторы, профессор, жер қойнауын пайдаланушылармен ынтымақтастық жөніндегі орталықтың бас ғылыми қызметкері Сәтбаев университеті b_absadykov@mail.ru Satbayev University, Сәтбаев 22, 050013, Алматы, Қазақстан



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 55.21.17

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-219-230>

Научная статья

Исследование режимов термосиловой обработки напыленных модифицированных слоев

С.Нураков¹, Б.О.Бостанов¹, Г.М.Тлепиева¹, С.Т.Нурсагатов², А.Б.Калиев*¹

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

²Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина, Астана, Казахстан

(E-mail: *kaliev_ab@enu.kz)

Аннотация. Представлены результаты исследования свойств напыленных покрытий с последующей электротермосиловой обработкой, проведенного в рамках грантового проекта МНВО РК АР19680421. Рассмотрены особенности прохождения электрического тока через напыленное покрытие или предварительно сформованный порошковый слой. Исследованы свойства покрытий из стали 40Х13, полученных гиперзвуковой металлизацией с последующей электротермосиловой обработкой. Разработан метод получения покрытия, обладающего повышенными износостойкими характеристиками, который состоит из распыления на предварительно подготовленную обрабатываемую поверхность частиц двух металлических проволок, расплавленных при помощи электрической дуги, а также последующей электротермосиловой обработки полученного слоя. В качестве материала одной проволоки предложено выбирать сталь мартенситного класса, в качестве материала другой – никель-хромовый или железо-хромовый сплав с высоким удельным электросопротивлением, а диаметр проволоки из этого сплава определять в зависимости от диаметра стальной проволоки.

Ключевые слова: гиперзвуковая металлизация, электротермосиловая обработка, напыленные покрытия, износостойкость.

Поступила 17.08.2024. Доработана 21.08.2024. Одобрена 09.09.2024. Доступна онлайн 30.09.2024

^{1*}автор для корреспонденции

Введение

В процессе напыления покрытий зачастую наблюдается такое явление, как интенсивное взаимодействие их компонентов с рабочими газами, особенно, с кислородом. Это приводит к тому, что кислород растворяется в концентрациях, которые превышают его растворимость, характерную для равновесных условий кристаллизации. Данный растворенный в покрытии кислород способствует снижению в сравнении с напыляемым исходным материалом энергетического порога перехода в состояние структурной неустойчивости, являясь причиной уменьшения энергозатрат на перемещение контактирующих поверхностей относительно друг друга, что приводит к более высокой структурной адаптируемости. При этом, рассматривая систему «основа-покрытие», следует учесть, что повышенное электрическое сопротивление, а, следовательно, и выделение тепла, будет наблюдаться в некоторых характерных точках, а именно, в точках контакта напыленных частиц, покрытия с подложкой и др.

Методология

Рассмотрим процесс прохождения импульсов электрического тока через предварительно сформированный порошковый слой или напыленное покрытие. Анализ осциллограммы режимов (рисунок 1), записанной при скорости 2 мм/с, указывает на нестабильность протекания процесса в период между начальной фазой нагрева и началом активной усадки покрытий: мгновенные значения тока не одинаковы и изменяются по случайному закону.

В начальный момент прохождения тока в местах контакта токопроводящих частиц наблюдаются резкие температурные колебания, приводящие к разрушению старых и созданию новых точек контакта: происходит образование микродуговых разрядов, расплавляющих и частично испаряющих металлы и, таким образом, уничтожающих отдельные контакты и создающих новые за счет сваривания частиц. Этот период стабилизации процесса по продолжительности может достигать 3 с. По этой причине нестабильности протекания процессов следует более тщательно определять и обеспечивать постоянство заданных параметров режимов.

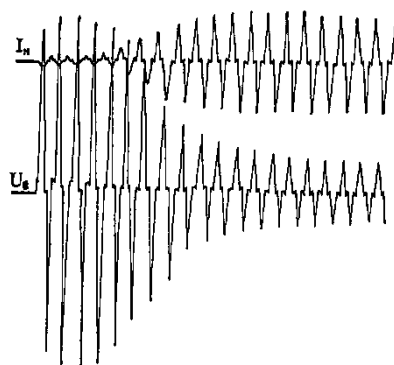


Рисунок 1. Осциллограмма прохождения электрического тока через напыленное покрытие

В дальнейшем наблюдается замедление усадки стального материала покрытия (при достижении температуры $\sim 720^{\circ}\text{C}$. По причине того, что во время пауз происходит охлаждение покрытия, нежелательно их наличие между импульсами тока вплоть до окончания нагрева, так как это приводит к увеличению продолжительности и повышению энергопотребления процесса спекания. Только лишь в случае возникновения опасности расплавления компонентов допускаются паузы между импульсами. После прекращения подачи электрического тока охлаждение материала происходит под давлением. За счет изменения скорости охлаждения возникает возможность проведения термообработки слоя.

При пропускании электрического тока через порошковый объем наблюдается стремительное повышение температуры в местах контактов частиц, а также в приконтактных областях. Происходит ряд процессов, таких как пластическое течение, уплотнение порошкового материала, зарастивание пор, сваривание контактов и др., приводящих к изменению физико-механических свойств материалов частиц и формированию высокоплотного слоя.

Уплотнение прессовок порошкового материала и пористых покрытий сопровождается взаимным перемещением частиц и их трением. Поэтому в контактах частиц поверхности трения смыкаются и размыкаются.

Трение шероховатых поверхностей частиц и их изнашивание за счет механического взаимодействия сопровождаются также разрушением за счет электроискровых разрядов, возникающих между отдельными частицами слоя. Электрические явления на поверхностях частиц идут более интенсивно и способствуют образованию высокоплотного материала слоя. Нагрев микроконтактов токопроводящих частиц в зоне контакта достигает, температур пластического течения и плавления, что способствует их спеканию.

При нагреве вследствие повышения активности протекания реакций между твердой и газовой фазами изменяется химический и структурный состав поверхностей частиц. Непосредственно в токопроводящих приконтактных зонах вероятно появление жидкой фазы, что ускоряет процессы химического взаимодействия. При спекании поверхности частиц окисляются (возникает и увеличивается пленка оксидов). Кислород, содержащийся в газовой среде пор (без доступа воздуха), восстанавливается.

В связи с этим контакты в процессе электроконтактного спекания разогреваются неодинаково и характеризуются различным теплоотводом в массу частиц. Кроме того, в одних контактах происходит выделение, в других - поглощение тепловой энергии. Неравномерность нагрева и электроэрозионного разрушения контактов способствуют образованию термопар, теплоты Пельтье и электрической диффузии.

Переход электрической энергии в тепловую локализуется в микроконтактах токопроводящих частиц, через которые тепло отводится в тело частиц в моменты пауз (выключения тока). Процессы нагрева и охлаждения происходят с большой скоростью (изменение температуры до 1000°C в секунду), что приводит к структурной неравномерности материала.

Велико влияние и временных факторов нагрева и охлаждения на диффузионные процессы массопереноса, которые активированы благодаря совместному воздействию импульсного электромагнитного поля, а также нагреву и давлению.

В работах [1-3] отмечено значительное повышение коэффициентов диффузии химических элементов даже по сравнению с динамическим горячим прессованием, что подтверждает влияние специфических термодинамических условий импульсного электроконтактного спекания под давлением на ускорение физико-химических процессов гетерогенной и реактивной диффузии химических элементов.

Благодаря кратковременному пребыванию частиц слоя в зоне высоких температур они лишь частично успевают прореагировать между собой. Наибольший нагрев и даже некоторое оплавление частиц происходит лишь в их токопроводящих контактах, поэтому тугоплавкие неэлектропроводные частицы оказываются в малоизмененном виде. Это подтвердили микродюрметрические, металлографические и микро-рентгеноспектральные исследования.

За короткое время формирования материала твердые частицы практически не растворяются в связующем материале. Приповерхностные слои частиц обедняются легирующими элементами в результате диффузии последних в железоуглеродистый связующий металл. Протяженность диффузионной зоны мала, поэтому материал характеризуется резко выраженной неоднородной структурой.

По исследованию процесса и расчету мгновенных значений электро-сопротивления по осциллограммам I_n и U_n было установлено, что критические изменения мгновенных значений удельного электросопротивления на разных режимах электроконтактного спекания имеют аналогичный вид. На начальной стадии нагрева происходит замедленное снижение электросопротивления материала слоя при соответствующем увеличении силы тока. Быстрое снижение электросопротивления начинается по достижении материалом температуры 670...720°C (для материала на основе железа) при соответствующей скорости нарастания уплотнения и силы тока. На конечной стадии процесса спекания скорость его снижения замедляется на всех режимах. В конце нагрева удельное электросопротивление одного и того же материала, спекаемого на разных режимах, становится одинаковым. Электроконтактное спекание обычно заканчивается когда температура материала образца достигает максимального значения для установленного режима и наступает тепловое равновесие.

На образцы, изготовленные из стали Ст.3 и имеющие геометрические параметры: $\square 10$ мм, $H 10$ мм газотермическим напылением были нанесены покрытия Св-08 и 40X13. После этого методом ультразвуковой обработки покрытия были пропитаны углеродными наноструктурными материалами.

Электротермосиловая обработка образцов напыленных покрытий проводилась на следующих режимах: $I_n = 4,0$ кА; $P = 15$ МПа; $t = 5$ сек; $j = 5,0$ кА/см².

В процессе корректировки режимов термосиловой обработки напыленных модифицированных слоев была получена следующая циклограмма работы установки (рисунок 2).

При $t_{ц1} = t_{ц2}$ и $t_{н1} = t_{н2}$: $F_2 = F_1/2$ и $I_{н2} = I_1/2$.

За счет смещения цикла времени нагрева $t_{н2}$ к началу общего цикла без увеличения продолжительности общего цикла было увеличено время посттермического воздействия, что дало возможность снизить нагрузку с охлаждаемого слоя. А это, в свою очередь, привело к уменьшению внутренних напряжений.

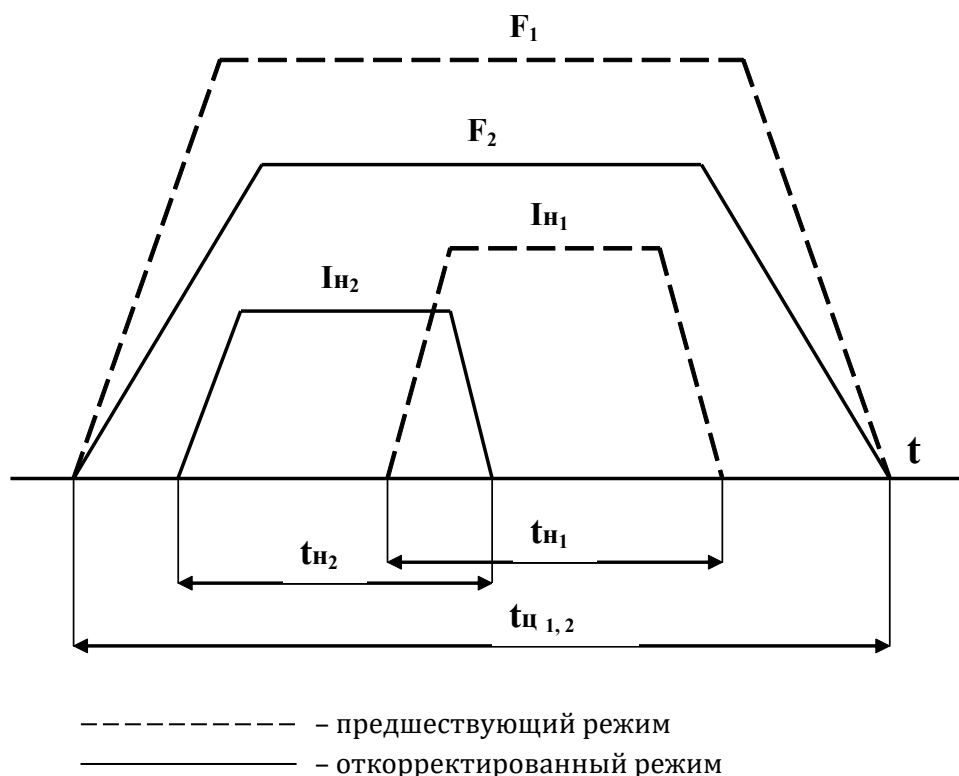


Рисунок 2. Циклограмма работы установки электротермосиловой обработки

Как было отмечено ранее, ускорение процесса спекания и соответственное повышение его производительности происходит за счет интенсификации электроконтактной обработки полученных напыленных покрытий, а также порошковых слоев [3, 4]. При этом, начальное электрическое сопротивление является основным определяющим фактором стабильности выделения тепла в порошковом слое. Создание в слое стабильного по сечению начального сопротивления при возможных наименьших значениях контактного давления (до 40-50 МПа) способствует получению покрытий высокого качества. Удельное электросопротивление слоя не ниже $(4-6) \cdot 10^{-5}$ Ом·м позволяет достичь высокой адгезионной прочности и низкой пористости (~3%). Изменение продолжительности электроконтактного взаимодействия также может служить причиной повышения электросопротивления.

Было предложено использовать для повышения электросопротивления напыленного слоя технологию нанесения псевдосплавных покрытий [5], которая хорошо зарекомендовала себя при восстановлении-упрочнении деталей узлов трения скольжения [6-8]. Технология заключается в том, что в распылительную головку металлизатора подают две проволоки, выполненные из разнородных металлов (например, сталь и бронза). После расплавления проволок в дуге и последующего распыления формируется покрытие, содержащее равномерно распределенные частицы этих разнородных металлов, причем их объемное соотношение пропорционально соотношению их диаметров.

Для проведения экспериментальных исследований были выбраны проволока из стали 40X13 и проволоки из сплавов с высоким удельным электросопротивлением: нихром (X20H80, $\rho=1,1 \cdot 10^{-6}$ Ом·м), фехраль (X23Ю5Т, $\rho=1,35 \cdot 10^{-6}$ Ом·м) и хромаль (X27Ю5А, $\rho=1,5 \cdot 10^{-6}$ Ом·м). Диаметр проволок с высоким электросопротивлением составлял от 1,1 до 2,2 мм (таблица 1). Всего было изготовлено методом ГМ 48 образцов покрытий, у которых оценивалась микротвердость, наличие поверхностных трещин и износостойкость в среде незакрепленного абразива (порошок электрокорунда с размером частиц 0,8-1,0 мм).

Результаты и их обсуждение

Результаты проведенных исследований приведены в таблице 1. Жирным шрифтом отмечены данные, полученные у образцов с наиболее высокой микротвердостью и износостойкостью.

Таблица 1. Свойства покрытий из стали 40X13, полученных гиперзвуковой металлизацией с последующей электротермосиловой обработкой

Материал второй проволоки и его уд. электросопротивление ρ , Ом·м	Диаметр проволоки из стали 40X13 D, мм	Диаметр второй проволоки d_p , мм	Свойства покрытия		
			Наличие трещин	Микротвердость, МПа	Относит. износостойкость при сухом трении в абразиве*
1	2	3	4	5	6
Нихром $1,1 \cdot 10^{-6}$	1,6	1,1	-	7900	1,05
		1,6	-	8200	1,10
		1,6	-	8800	1,30
		1,8	+	8600	1,15
	1,8	1,1	-	7800	1,05
		1,3	-	8000	1,10
		1,8	-	8400	1,15
		1,8	-	8800	1,30
	2,0	1,1	-	7800	1,00
		1,3	-	8100	1,10
		1,6	-	8100	1,15
		1,8	+	8200	1,15
	2,2	1,3	-	8300	1,20
		1,6	-	8400	1,20
		1,8	-	8600	1,20
		2,2	-	8900	1,30
Фехраль $1,3 \cdot 10^{-6}$	1,6	1,1	-	8400	1,15
		1,3	-	8700	1,35
		1,6	-	8800	1,35

	1,8	1,8	-	8500	1,20
		1,1	-	7900	1,05
		1,3	-	8100	1,15
		1,6	-	8300	1,20
		1,8	-	8900	1,40
	2,0	1,1	-	7800	1,00
		1,3	-	8000	1,10
			1,6	-	8200
1,8			+	8200	1,15
2,2		1,3	-	8100	1,10
		1,6	-	8400	1,20
		1,8	-	9000	1,40
		2,2	+	8500	1,20
Хромаль $1,5 \cdot 10^{-6}$	1,6	1,1	-	8800	1,35
		1,3	-	8400	1,20
		1,6	-	8000	1,10
		1,8	+	8000	1,10
	1,8	1,3	-	9000	1,40
		1,6	-	8400	1,20
		1,8	-	8400	1,20
	2,0	1,1	-	8000	1,00
1	2	3	4	5	6
Хромаль $1,5 \cdot 10^{-6}$	2,0	1,3	-	8500	1,15
		1,6	-	9000	1,35
		1,8	-	8500	1,15
	2,2	1,3	-	8400	1,20
		1,6	-	8500	1,20
		1,8	-	9100	1,35
		2,2	+	8500	1,20

*В сравнении с износостойкостью покрытия из стали 40X13 после электротермосиловой обработки ($I = 1$)

Выполнив аппроксимацию и соответствующую математическую обработку данных, отмеченных жирным шрифтом, было установлено, что для получения высоких значений свойств покрытий диаметр проволоки из материала с высоким удельным

электросопротивлением необходимо выбирать в зависимости от диаметра стальной проволоки, используя следующее выражение:

$$d = \frac{k \cdot \ln D}{\rho \cdot D^{0,5}}, \quad (1)$$

где D – диаметр стальной проволоки, мм; d – диаметр проволоки из сплава с высоким удельным электросопротивлением, мм; ρ – удельное электросопротивление сплава, Ом·м; k – коэффициент, численно равный $4,7 \cdot 10^{-6}$ Ом·м·мм^{1,5}.

На основании анализа результатов экспериментальных исследований был предложен способ получения износостойкого покрытия, включающий формирование струи из распыленных частиц расплавленных в электрической дуге двух металлических проволок, их осаждение в виде слоя на предварительно подготовленную поверхность детали и последующую электротермосиловую обработку слоя, причем в качестве материала одной проволоки выбирают сталь мартенситного класса, в качестве материала другой – никель-хромовый или железо-хромовый сплав с высоким удельным электросопротивлением, а диаметр проволоки из этого сплава выбирают в зависимости от диаметра стальной проволоки исходя из соотношения (1).

Заключение

Показано, что интенсификация температурно-силовых параметров при электротермосиловой обработке напыленных покрытий ускоряет их уплотнение, спекание и, следовательно, увеличивает производительность процесса. Предложено для получения покрытий высокого качества создавать в слое стабильное по сечению начальное электросопротивление при возможно меньших значениях контактного давления (40-50 МПа), для чего использовать технологию нанесения псевдосплавных покрытий.

Предложен способ получения износостойкого покрытия, включающий формирование струи из распыленных частиц расплавленных в электрической дуге двух металлических проволок, их осаждение в виде слоя на предварительно подготовленную поверхность детали и последующую электротермосиловую обработку слоя, причем в качестве материала одной проволоки выбирают сталь мартенситного класса, в качестве материала другой – никель-хромовый или железо-хромовый сплав с высоким удельным электросопротивлением, а диаметр проволоки из этого сплава выбирают в зависимости от диаметра стальной проволоки.

Разработанным способом получены покрытия на основе стали мартенситного класса 40Х13 с микротвердостью 8800-9000 МПа и износостойкостью, в 1,4 раза превышающей износостойкость покрытий из той же стали, полученных ранее известными методами.

Благодарности. Данное исследование было профинансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант №AP19680421).

Вклад авторов

С.Нураков – концепция, методология, экспериментальная часть.

Б.О.Бостанов – интерпретация, экспериментальная часть.

Г.М.Тлепиева – анализ литературы, экспериментальная часть

С.Т.Нурсағатов – интерпретация, написание, редактирование

А.Б.Калиев – интерпретация, методология, написание

Список литературы

Л.А.Лопата, Ю.В.Волков, Т.В.Ворона, А.Е.Соловых. Электродноконтактное припекание дискретных покрытий // Инженерия поверхности и реновация изделий: материалы 14-й международной научно-технической конференции. – Киев, 2014. – С.63-66.

Ярошевич В.К., Генкин Я.С., Верещагин В.А. Электродноконтактное упрочнение. – Мн.: Наука и техника, 1982. – 256 с.

Ярошевич В.К. Электродноконтактное припекание порошковых покрытий и обеспечение стабильности их свойств // Вестник БНТУ, сер. Металлургия. Металлообработка. Машиностроение. – 2009. – № 1. – С.18-21.

М.И.Черновол, Т.В.Ворона, О.А.Микосянчик, Л.А.Лопата. Структурно-фазовые превращения в газотермических стальных покрытиях в процессе их напыления и последующей электродноконтактной обработки // Научно-технічний журнал «Проблема тертя та зношування». – 2015. – №2(67) – С.99-109.

Белоцерковский М.А. Технологические приемы гиперзвуковой металлизации при распылении проволок из разнородных металлов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2019. – №1. – С.79-84.

Кукареко В.А., Белоцерковский М.А. Григорчик А.Н., Астрашаб Е.В., Сосновский А.В. Структурно-фазовое состояние и триботехнические свойства псевдосплавов, напыленных из высокохромистых сталей и цветных металлов // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2019. – Т.15. №8. – С.355-359.

Дудан А.В., Яловик А.П., Белоцерковский М.А. Инновационные технологии восстановления штоков гидроцилиндров. – Новополюцк: ПГУ. – 2020. – 232 с.

Белоцерковский М.А., Кукареко В.А., Коробов Ю.С., Астрашаб Е.В., Григорчик А.Н. Структурно-фазовый состав газотермического покрытия из Fe-Cr-Ni-Al-псевдосплава, подвергнутого отжигу // Литье и металлургия. – 2021. – №4. – С.112 – 115.

С.Нұрақов¹, Б.О.Бостанов¹, Г.М.Тілепиева¹, С.Т.Нұрсағатов², Ә.Б.Қалиев*¹

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

²С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Астана, Қазақстан

Бүріккіш модификацияланған қабаттардың термиялық қуатты өңдеу режимдерін зерттеу

Аңдатпа. ҚР ҒЖБМ АР19680421 гранттық жобасы шеңберінде жүргізілген электрлік термиялық өңдеуден кейін тозаңдатылған жабындардың қасиеттерін зерттеу нәтижелері

берілген. Электр тогының бүріккіш жабын немесе алдын ала қалыптасқан ұнтақ қабаты арқылы өту ерекшеліктері қарастырылады. Гипердыбыстық металдандыру арқылы алынған, кейіннен электрлік температуралық күштік өңдеу өткізілген 40X13 маркалы болаттан жасалған жабындардың қасиеттері зерттелді. Тозуға төзімді жабынды алу әдісі ұсынылған, оның ішінде электр доғасында балқытылған екі металл сымның тозаңдатылған бөлшектерінен ағын қалыптастыру, оларды алдын-ала дайындалған бөлшек бетіне қабат ретінде тұндыру және қабатты кейіннен электрлік температуралық күштік өңдеу. Бір сымның материалы ретінде мартенсит класындағы болатты, екіншісінің материалы ретінде жоғары меншікті электр кедергісі бар никель-хром немесе темір-хром қорытпасын таңдау ұсынылады, ал осы қорытпадан жасалған сымның диаметрі болат сымның диаметріне байланысты анықталады.

Түйін сөздер: гипердыбыстық металдандыру, электртермиялық күштік өңдеу, тозаңдатылған жабындар, тозуға төзімділік.

S. Nurakov¹, B.O. Bostanov¹, G.M. Tlepiyeva¹, S.T. Nursagatov², A.B. Kaliyev*¹

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

²S.Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Astana, Kazakhstan

Investigation of the modes of thermal power treatment of sprayed modified layers

Abstract. The paper presents the findings of a study investigating the properties of sprayed coatings with subsequent electrothermally treated within the context of the Ministry of Internal Affairs of the Republic of Kazakhstan grant project AR19680421. This study considers the peculiarities of electric current flow through the sprayed coating or pre-formed powder layer. The properties of 40X13 steel coatings obtained by hypersonic metallization followed by electrothermosilic treatment are investigated. A method for obtaining a wear-resistant coating is proposed, including the formation of a jet of sprayed particles of two metal wires melted in an electric arc, their deposition as a layer on a pre-prepared surface of the part and subsequent electrothermosilic treatment of the layer. It is proposed to choose martensitic steel as the material of one wire, nickel–chromium or iron-chromium alloy with high electrical resistivity as the material of the other, and the diameter of the wire made of this alloy should be determined depending on the diameter of the steel wire.

Keywords: hypersonic metallization, electrothermosilic force treatment, sprayed coatings, wear resistance.

References

1. L.A.Lopata, YU.V.Volkov, T.V.Vorona, A.E.Solovyh. Elektrokontaktное pripekanie diskretnyh pokrytij // Inzheneriya poverhnosti i renovaciya izdelij: materialy 14-j mezhdunarodnoj nauchno-tekhnicheskoj konferencii. – Kiev, 2014. – S.63-66.
2. YArOshevich V.K., Genkin YA.S., Vereshchagin V.A. Elektrokontaktное uprochnenie. – Mn.: Nauka i tekhnika, 1982. – 256 s.
3. YArOshevich V. K. Elektrokontaktное pripekanie poroshkovyh pokrytij i obespechenie stabil'nosti ih svoystv // Vestnik BNTU, ser. Metallurgiya. Metalloobrabotka. Mashinostroenie. – 2009. – № 1. – S.18-21.

4. M.I.Chernovol, T.V.Vorona, O.A.Mikosyanchik, L.A.Lopata. Strukturno-fazovye prevrashcheniya v gazotermicheskikh stal'nykh pokrytiyakh v processe ih napyleniya i posleduyushchej elektrokontaktnoj obrabotki // Naukovo-tekhnichnij zhurnal «Problema tertya ta znoshuvannya». – 2015. – №2(67) – S.99-109.

5. Belocerkovskij M.A. Tekhnologicheskie priemy giperzvukovoj metallizacii pri raspylenii provolok iz raznorodnykh metallov // Mekhanika mashin, mekhanizmov i materialov. – 2019. – №1. – S.79-84.

6. Kukareko V.A., Belocerkovskij M.A. Grigorchik A.N., Astrashab E.V., Sosnovskij A.V. Strukturno-fazovoe sostoyanie i tribotekhnicheskie svoystva psevdosplavov, napylenykh iz vysokohromistykh stalej i cvetnykh metallov // Uprochnyayushchie tekhnologii i pokrytiya. – 2019. – T.15. №8. – S.355-359.

7. Dudan A.V., Yalovik A.P., Belocerkovskij M.A. Innovacionnye tekhnologii vosstanovleniya shtokov gidrocilindrov. – Novopolock: PGU. – 2020. – 232 s.

8. Belocerkovskij M.A., Kukareko V.A., Korobov YU.S., Astrashab E.V., Grigorchik A.N. Strukturno-fazovyy sostav gazotermicheskogo pokrytiya iz Fe-Cr-Ni-Al-psevdosplava, podvergnutogo otzhigu // Lit'e i metallurgiya. – 2021. – №4. – S.112 – 115.

Сведения об авторах

С.Нураков – доктор технических наук, профессор, Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, ул.К.И.Сатпаева, 2, Астана, Казахстан

Б.О.Бостанов – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, ул.К.И.Сатпаева, 2, Астана, Казахстан

Г.М.Тлепиева – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, ул.К.И.Сатпаева, 2, Астана, Казахстан

С.Т.Нурсағатов – кандидат технических наук, Казахский агротехнический исследовательский университет им.С.Сейфуллина, пр.Женис, 62, Астана, Казахстан

А.Б.Калиев – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет им.Л.Н.Гумилева, ул.К.И.Сатпаева, 2, Астана, Казахстан

С.Нұрақов – техника ғылымдарының докторы, профессор, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ.И.Сәтбаев көшесі, 2, Астана қ., Қазақстан

Б.О.Бостанов – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ.И.Сәтбаев көшесі, 2, Астана қ., Қазақстан

Г.М.Тлепиева – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ.И.Сәтбаев көшесі, 2, Астана қ., Қазақстан

С.Т.Нұрсағатов – техника ғылымдарының кандидаты, С.Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы, 62, Астана, Қазақстан

Ә.Б.Қалиев – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ.И.Сәтбаев көшесі, 2, Астана қ., Қазақстан

S.Nurakov – Doctor of Technical Sciences, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, K.I. Satpayev St., 2, Astana, Kazakhstan

B.O.Bostanov – Candidate of Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, K.I. Satpayev St., 2, Astana, Kazakhstan

G.M.Tlepiyeva – Candidate of Technical Sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, K.I. Satpayev St., 2, Astana, Kazakhstan

S.T.Nursagatov – Candidate of Technical Sciences, S. Seifullin Kazakh Agrotechnical Research University, Zhenis Ave., 62, Astana, Kazakhstan

A.B.Kaliyev – Candidate of Technical Sciences, L.N.Gumilyov Eurasian National University, K.I. Satpayev St., 2, Astana, Kazakhstan



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



IRSTI 55.30.01

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-231-240>

Article

Innovative methods of control and design of continuum robots

M.E. Kalekeyeva*¹ , G.V. Muratbekova¹ , Z.E. Konakbay¹ , M.A. Gozhakhmetova¹ ,
L.V. Vakhitova² 

¹Academy of Civil Aviation, Almaty, Kazakhstan

²Mukhamedzhan Tynyshpaev ALT University, Almaty, Kazakhstan

(E-mail: *kalekeeva.m@mail.ru)

Abstract. This article discusses the latest methods of control and design of continuum robots, including adaptive control, visual control, the use of hybrid materials and the integration of artificial intelligence. Solutions for improving the accuracy and maneuverability of robotic systems, such as hybrid controllers, fuzzy controllers, singularity avoidance algorithms and dynamic modeling methods, are described. Innovative approaches to stiffness management, the use of biomimetic principles and flexible materials, as well as adaptive trajectory planning are also discussed. Practical applications in the medical field, such as fetoscopic operations and minimally invasive neurosurgical procedures, are considered. Examples of experimental studies demonstrating the effectiveness of the proposed methods and technologies to improve the functionality and adaptability of continuum robots are given.

Keywords: continuum robots, adaptive control, visual control, hybrid materials, artificial intelligence.

Received 11.09.2024. Revised 16.09.2024. Accepted 16.09.2024. Available online 30.09.2024

¹*the corresponding author

Introduction

Most of the articles focus on solving control problems and optimizing the operation of robotic systems in conditions of complex and changing parameters. The article [1] discusses methods of adaptive control of non-stationary robots using online training aimed at eliminating problems associated with limited and changing ranges of motion. The focus is on developing an adaptive approach to managing non-stationary robots, using the online learning method to handle changing parameters and uncertainty. The article [2] presents the continuum manipulator, which improves the controllability and predictability of movement using a flexible design and analytical methods for precise bending control. The design of the continuum manipulator is presented, which provides precise linear movement and controllability thanks to innovative materials and analytical methods. Both works emphasize the importance of precise control and adaptation of robots to changing conditions in order to achieve optimal performance. The article [3] describes a fuzzy controller that simplifies the control of continuum manipulators and reduces computational requirements, providing effective trajectory tracking. In the article [4], a hybrid position control model for the continuum robot was developed, taking into account interaction with the environment, combining kinematics and dynamics. In the article [5], a planning and management methodology for continuum multi-sectional robots is proposed, taking into account uncertainty and interference. Simulation results are presented to demonstrate the effectiveness of planning and management.

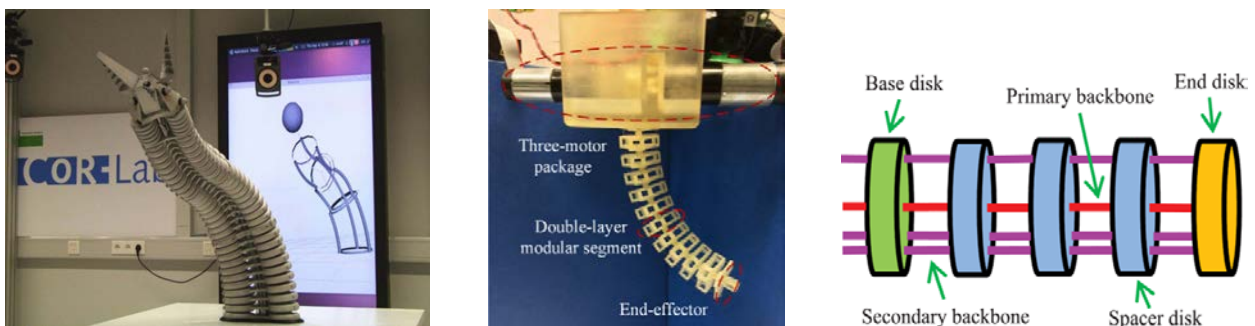


Figure 1

a) BHA mimics an elephant trunk
[1]

b) A prototype of the
proposed concept
of a continuous manipulator
[2]

c) The simplified structure
of the continuum robot [4]

In developing and improving control and simulation methods for complex robotic systems in conditions of high uncertainty and instability, the authors propose the integration of various methods and technologies to improve the accuracy and controllability of robotic systems.

The article [6] uses a combination of a kinematic model, a Gaussian process regression (GPR) method and a ground-penetrating radar to correct errors and improve control accuracy. The effectiveness of the method has been confirmed by experiments with a real stand.

The article [7] proposes the integration of a continuous robotic arm for airspace control using a modified theory and an adaptive approach. The test was performed in a simulated environment. In the article [8], neural networks, an analytical model and a cascade controller are combined to control a multi-segment manipulator with a pneumatic drive. The results were confirmed by experiments on a real manipulator.

In the article [9], an improved model with piecewise constant curvature and a sliding mode controller for controlling continuous robots are proposed, which includes interference suppression and uncertainty estimation. Stability analysis and numerical modeling are carried out. In the article [10], a mathematical interpretation of VAR is given and a new method for adapting VOR is proposed. This study of adaptive control based on the cerebellum, complemented by a reference model, provides a potential general solution for robot control. If the reference model is not used, it will be difficult for an installation with more poles than zeros to respond immediately. The reference model determines the behavior of the robot. Its response at a high frequency with a small time constant shows a decline, low-frequency signals remain unchanged. To test the proposed method of neural control of image stabilization using a reference model, the authors first briefly present it, and then use it for modeling and experiments in Matlab and Simulink. The described cerebellar algorithm can potentially become a modular controller for soft robots.

The methodology

Many papers explore various aspects of the design, control and simulation of continuum robots. The main topics include the use of biological analogues to improve the functionality of robots, the development of adaptive control methods to solve problems with changing parameters, and optimization of modeling for more accurate and effective control. Attention is paid to both innovative design solutions (for example, the use of soft and hard materials, dynamic switching between states) and advanced methods of control and trajectory planning.

The article discusses the use of biomimetic principles and the combination of various structural elements to create a robot with high flexibility and the ability to capture objects. The article [11] discusses adaptive gripping using flexible and rigid materials based on origami design. These articles emphasize the importance of creating structures that can effectively cope with various manipulative tasks and adapt to different conditions.



Figure 2. Underactuated cable-driven robotic gripper with three compliant fingers fully open (left) and closed (right) [11]

The article proposes an approach to pose planning and robot control continuum, which takes into account excessive degrees of freedom and flexibility. New methods such as simulation and adaptive control are used to achieve stability and optimize trajectories. All three articles explore methods aimed at improving the adaptability and accuracy of robots in changing conditions. These articles combine a focus on the development and optimization of continuum robot designs using both new materials and control methods to enhance their functionality.

Some articles are devoted to the development and improvement of continuum manipulators and robots with an emphasis on flexibility, adaptability and control accuracy. The article describes a mechanism that combines rigidity and flexibility through switching between discrete and continuous states, which improves the functionality of the manipulator. This expands the range of applications of continuum robots, allowing them to combine the advantages of rigid and flexible structures. In the article, methods of dynamic modeling of continuum robots are proposed, including the use of Cosserat rods and the development of a MATLAB code package for simulation. This highlights the importance of accurate modeling to optimize design and control. The article discusses the use of a MAML-based controller (Model-Agnostic Meta-Learning) for precise positioning of the continuum manipulator under varying loads. This illustrates the importance of adaptive management and minimizing data volumes for effective management and accuracy.

Other articles focus on the development and improvement of continuum robots with an emphasis on stiffness and adaptability management. The article discusses a variable stiffness manipulator that combines elements of rigid and flexible structural design. Modeling and experimental tests confirm the effectiveness of this design. The article presents the concept of improving the rigidity of continuum robots with cable drive using additional cables. This allows you to increase the rigidity of the structure and reduce unwanted deformations. The article discusses OctRobot-I, which regulates stiffness in various directions. Theoretical models are being investigated and experimental tests are being conducted, demonstrating significant improvements in the rigidity and performance of the robot.

Some authors focus on improving the functionality and adaptability of continuum robots through the integration of various technologies and control methods. The article proposes a hybrid controller with an error compensation function to improve tracking accuracy. A hybrid controller is used that combines visual data and sensory information for precise positioning and improved control in conditions of limited visibility. The focus is on error compensation and improved tracking through data processing algorithms.

The article discusses the use of distributed artificial intelligence to increase the autonomy and stability of robots. Methods of autonomous control based on distributed intelligence are being studied in order to provide the continuum robot with the ability to perform autonomous actions. Focuses on distributed artificial intelligence and autonomy, using examples of bioengineered solutions to improve the robustness and autonomy of Continuum robots. Explores the distribution of intelligence and autonomous solutions inspired by biological systems to enhance sustainability.

The article presents a combination of hard and soft components for stiffness control and proprioceptive perception of the robot. A stiffness control system and three-dimensional positioning using spring and soft elements are described. It is focused on a combination of hard and soft components for stiffness adjustment and control, including experimental characteristics

and module control. Focuses on stiffness management and proprioceptive perception through a combination of hard and soft elements.

The article describes a robotic continuum system using contact-compatible mechanisms (CACMs) to solve problems of torsion and loss of stability, which improves rigidity and morphological accuracy. Considers mechanical design and modeling to solve torsion and wear problems, using contact-compatible mechanisms to improve stiffness and stability.

These articles show a variety of approaches to improving continuum robots, from integrating sensory data and AI to innovative design solutions and improving mechanical properties.

Findings/Discussion

These articles demonstrate a wide range of methods and approaches for improving continuum robots, ranging from mechanical and structural solutions to control and planning algorithms in complex environments.

The article [12] describes the mechatronic design of a device for precise fetoscopic surgery, using the integration of a controlled tube and a manipulator with a remote displacement center. The focus is on improving the maneuverability and stability of imaging through the use of a stereoscopic camera and electromagnetic sensors.

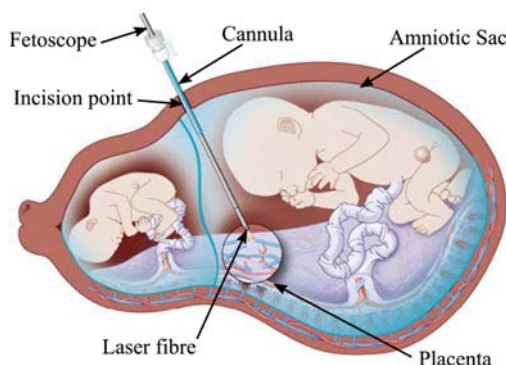


Figure 3 – Schematic diagram of the FLP procedure for the treatment of TTTS showing with the endoscope positioned to coagulate the placental vessel anastomosis [12]

In the article [13], the authors consider visual control for continuum robots, including algorithms based on Jacobian optimization, in order to avoid singularities and provide control in closed environments without prior calibration. The article [14] focuses on the control and modeling of continuum manipulators, taking into account mechanical parameters and constant curvature. The authors of the article [15] present the design and optimization of a robot with concentric tubes for minimally invasive operations, with customization for a specific patient and the use of preoperative MRI data. The article describes motion planning and a dynamic drag control method for a two-section continuum robot in a dynamic environment using motion capture systems and simulation planning.

These articles show a variety of approaches to improving continuum robots, from integrating sensory data and AI to innovative design solutions and improving mechanical properties.

Conclusions

This article summarizes the achievements in the field of control and design of continuum robots, emphasizing the importance of integrating adaptive control methods, the use of hybrid materials and the use of artificial intelligence. The approaches described in this paper, including hybrid and fuzzy controllers, singularity avoidance algorithms and dynamic modeling methods, demonstrate significant progress in improving the accuracy, maneuverability and stability of robotic systems. Design innovations such as the use of biomimetic principles and flexible materials, as well as adaptive trajectory planning, open up new possibilities for the application of continuum robots in various fields, including the medical field. Practical examples, including fetoscopic operations and minimally invasive neurosurgical procedures, confirm the effectiveness of the proposed solutions. Overall, the article highlights the importance of continuing research and development in the field of continuum robots in order to maximize their potential in complex and dynamic environments.

Confirmations

The research is funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (IRN AR22688462 "Development of a continuum robot control system using computer vision", contract 83/ZHG-5-24-26 dated 06/20/2024).

The contribution of the authors

Kalekeyeva M.E. – made a significant contribution to the collection and analysis of literature on continuous robotic manipulators inspired by biological models. His work focuses on the study of the current state of this technology, its application and management issues, which contributes to the development of more flexible and adaptive robotic systems.

Muratbekova G.V. – participated in the development of the concept of work and writing the text of the article with the presentation of analytical data, ensuring the integrity of all parts of the article.

Konakbay Z.E. – participated in the critical revision of the content of the article and in the approval of the final version for publication

Gozhakhmetova M.A., Vakhitova L.V. – participated in the development of the concept of work and writing the text of the article with the presentation of analytical data, ensuring the integrity of all parts of the article. References

References

1. M. Rolf and J. J. Steil, "Efficient Exploratory Learning of Inverse Kinematics on a Bionic Elephant Trunk," in IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, vol. 25, no. 6, pp. 1147-1160, June 2014, doi: 10.1109/TNNLS.2013.2287890.
2. P. Qi, C. Qiu, H. Liu, J. S. Dai, L. D. Seneviratne and K. Althoefer, "A Novel Continuum Manipulator Design Using Serially Connected Double-Layer Planar Springs," in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 21, no. 3, pp. 1281-1292, June 2016, doi: 10.1109/TMECH.2015.2498738
3. P. Qi, C. Liu, A. Ataka, H. K. Lam and K. Althoefer, "Kinematic Control of Continuum Manipulators Using a Fuzzy-Model-Based Approach," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 8, pp. 5022-5035, Aug. 2016, doi: 10.1109/TIE.2016.2554078.

4. S. Xu, B. He, Y. Zhou, Z. Wang and C. Zhang, "A Hybrid Position/Force Control Method for a Continuum Robot With Robotic and Environmental Compliance," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 100467-100479, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2928572.
5. I. A. Seleem, S. F. M. Assal, H. Ishii and H. El-Hussieny, "Demonstration-Guided Pose Planning and Tracking for Multi-Section Continuum Robots Considering Robot Dynamics," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 166690-166703, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2953122.
6. W. Shen, G. Yang, T. Zheng, Y. Wang, K. Yang and Z. Fang, "An Accuracy Enhancement Method for a Cable-Driven Continuum Robot with a Flexible Backbone," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 37474-37481, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2975087.
7. Z. Samadikhoshkho, S. Ghorbani and F. Janabi-Sharifi, "Modeling and Control of Aerial Континуум Manipulation Systems: A Flying Continuum Robot Paradigm," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 176883-176894, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3026279.
8. M. K. Mishra, A. K. Samantaray and G. Chakraborty, "Joint-Space Kinematic Control of a Bionic Continuum Manipulator in Real-Time by Using Hybrid Approach," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 47031-47050, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3171236.
9. S. Dian, Y. Zhu, G. Xiang, C. Ma, J. Liu and R. Guo, "A Novel Disturbance-Rejection Control Framework for Cable-Driven Continuum Robots with Improved State Parameterizations," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 91545-91556, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3202934.
10. Balbayev, G., Mussina, A., Zhauyt, A., Shingissov, B., Kalekeyeva, M. "Neural Control for Image Stabilisation Using a Reference Model" // *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, vol. 10(1). - pp.17-21, 2021, doi: 10.18178/IJMERR.10.1.17-21
11. K. Lee, Y. Wang and C. Zheng, "TWISTER Hand: Underactuated Robotic Gripper Inspired by Origami Twisted Tower," in *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 36, no. 2, pp. 488-500, April 2020, doi: 10.1109/TRO.2019.2956870.
12. G. Dwyer et al., "A Continuum Robot and Control Interface for Surgical Assist in Fetoscopic Interventions," in *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 2, no. 3, pp. 1656-1663, July 2017, doi: 10.1109/LRA.2017.2679902.
13. K. Wu et al., "Safety-Enhanced Model-Free Visual Servoing for Continuum Tubular Robots Through Singularity Avoidance in Confined Environments," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 21539-21558, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2891952.
14. H. Wang, Z. Du, W. Yang, Z. Y. Yan and X. Wang, "Variable Stiffness Model Construction and Simulation Verification of Coupled Notch Continuum Manipulator," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 154761-154769, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2949376.
15. X. Yang, S. Song, L. Liu, T. Yan and M. Q. -H. Meng, "Design and Optimization of Concentric Tube Robots Based on Surgical Tasks, Anatomical Constraints and Follow-the-Leader Deployment," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 173612-173625, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2956830.

М.Е. Калекеева^{*1}, Г.В. Муратбекова¹, З.Е.Конакбай¹, М.А.Гожахметова¹, Л.В.Вахитова²

¹*Академия гражданской авиации, Алматы, Казахстан*

²*Академия логистики и транспорта имени М.Тынышпаева*

Инновационные методы управления и проектирования роботов континуум

Аннотация. В этой статье рассматриваются новейшие методы управления и проектирования роботов continuum, включая адаптивное управление, визуальный контроль, использование гибридных материалов и интеграцию искусственного интеллекта. Описаны решения для

повышения точности и маневренности робототехнических систем, таких, как гибридные контроллеры, нечеткие контроллеры, алгоритмы предотвращения сингулярностей и методы динамического моделирования. Также обсуждаются инновационные подходы к управлению жесткостью, использование биомиметических принципов и гибких материалов, а также адаптивное планирование траектории. Рассмотрены практические применения в области медицины, такие, как фетоскопические операции и малоинвазивные нейрохирургические процедуры. Приведены примеры экспериментальных исследований, демонстрирующих эффективность предлагаемых методов и технологий для улучшения функциональности и адаптивности роботов континуум.

Ключевые слова: континуальные роботы, адаптивное управление, визуальный контроль, гибридные материалы, искусственный интеллект.

М.Е. Қалекеева*¹, Г.В. Муратбекова¹, З.Е. Қонакбай¹, М.А.Гожахметова¹, Л.В.Вахитова²

¹*Азаматтық авиация академиясы, Қазақстан Республикасы, Алматы қ.*

²*Мұхамеджан Тынышпаев атындағы АЛТ Университет, Алматы, Қазақстан*

Континуум роботтарын басқарудың және жобалаудың инновациялық әдістері

Аңдатпа. Бұл мақалада адаптивті басқару, визуалды бақылау, гибриді материалдарды пайдалану және жасанды интеллект интеграциясын қоса алғанда, continuum роботтарын басқару мен жобалаудың соңғы әдістері қарастырылады. Гибриді контроллерлер, анық емес контроллерлер, сингулярлықтың алдын алу алгоритмдері және динамикалық модельдеу әдістері сияқты робототехникалық жүйелердің дәлдігі мен маневрін жақсартуға арналған шешімдер сипатталған. Сондай-ақ қаттылықты басқарудың инновациялық тәсілдері, биомиметикалық принциптер мен икемді материалдарды пайдалану және адаптивті траекторияны жоспарлау талқыланады. Фетоскопиялық операциялар және аз инвазивті нейрохирургиялық процедуралар сияқты медицина саласындағы практикалық қолданбалар қарастырылады. Continuum роботтарының функционалдығы мен бейімделуін жақсарту үшін ұсынылған әдістер мен технологиялардың тиімділігін көрсететін эксперименттік зерттеулердің мысалдары келтірілген.

Түйін сөздер: үздіксіз роботтар, адаптивті басқару, визуалды бақылау, гибриді материалдар, жасанды интеллект

References

1. M. Rolf and J. J. Steil, "Efficient Exploratory Learning of Inverse Kinematics on a Bionic Elephant Trunk," in IEEE Transactions on Neural Networks and Learning Systems, vol. 25, no. 6, pp. 1147-1160, June 2014, doi: 10.1109/TNNLS.2013.2287890.
2. P. Qi, C. Qiu, H. Liu, J. S. Dai, L. D. Seneviratne and K. Althoefer, "A Novel Continuum Manipulator Design Using Serially Connected Double-Layer Planar Springs," in IEEE/ASME Transactions on Mechatronics, vol. 21, no. 3, pp. 1281-1292, June 2016, doi: 10.1109/TMECH.2015.2498738
3. P. Qi, C. Liu, A. Ataka, H. K. Lam and K. Althoefer, "Kinematic Control of Continuum Manipulators Using a Fuzzy-Model-Based Approach," in IEEE Transactions on Industrial Electronics, vol. 63, no. 8, pp. 5022-5035, Aug. 2016, doi: 10.1109/TIE.2016.2554078.

4. S. Xu, B. He, Y. Zhou, Z. Wang and C. Zhang, "A Hybrid Position/Force Control Method for a Continuum Robot With Robotic and Environmental Compliance," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 100467-100479, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2928572.
5. I. A. Seleem, S. F. M. Assal, H. Ishii and H. El-Hussieny, "Demonstration-Guided Pose Planning and Tracking for Multi-Section Continuum Robots Considering Robot Dynamics," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 166690-166703, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2953122.
6. W. Shen, G. Yang, T. Zheng, Y. Wang, K. Yang and Z. Fang, "An Accuracy Enhancement Method for a Cable-Driven Continuum Robot with a Flexible Backbone," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 37474-37481, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.2975087.
7. Z. Samadikhoshkho, S. Ghorbani and F. Janabi-Sharifi, "Modeling and Control of Aerial Континуум Manipulation Systems: A Flying Continuum Robot Paradigm," in *IEEE Access*, vol. 8, pp. 176883-176894, 2020, doi: 10.1109/ACCESS.2020.3026279.
8. M. K. Mishra, A. K. Samantaray and G. Chakraborty, "Joint-Space Kinematic Control of a Bionic Continuum Manipulator in Real-Time by Using Hybrid Approach," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 47031-47050, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3171236.
9. S. Dian, Y. Zhu, G. Xiang, C. Ma, J. Liu and R. Guo, "A Novel Disturbance-Rejection Control Framework for Cable-Driven Continuum Robots with Improved State Parameterizations," in *IEEE Access*, vol. 10, pp. 91545-91556, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3202934.
10. Balbayev, G., Mussina, A., Zhauyt, A., Shingissov, B., Kalekeyeva, M. "Neural Control for Image Stabilisation Using a Reference Model" // *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, vol. 10(1). - pp.17-21, 2021, doi: 10.18178/IJMERR.10.1.17-21
11. K. Lee, Y. Wang and C. Zheng, "TWISTER Hand: Underactuated Robotic Gripper Inspired by Origami Twisted Tower," in *IEEE Transactions on Robotics*, vol. 36, no. 2, pp. 488-500, April 2020, doi: 10.1109/TRO.2019.2956870.
12. G. Dwyer et al., "A Continuum Robot and Control Interface for Surgical Assist in Fetoscopic Interventions," in *IEEE Robotics and Automation Letters*, vol. 2, no. 3, pp. 1656-1663, July 2017, doi: 10.1109/LRA.2017.2679902.
13. K. Wu et al., "Safety-Enhanced Model-Free Visual Servoing for Continuum Tubular Robots Through Singularity Avoidance in Confined Environments," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 21539-21558, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2891952.
14. H. Wang, Z. Du, W. Yang, Z. Y. Yan and X. Wang, "Variable Stiffness Model Construction and Simulation Verification of Coupled Notch Continuum Manipulator," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 154761-154769, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2949376.
15. X. Yang, S. Song, L. Liu, T. Yan and M. Q. -H. Meng, "Design and Optimization of Concentric Tube Robots Based on Surgical Tasks, Anatomical Constraints and Follow-the-Leader Deployment," in *IEEE Access*, vol. 7, pp. 173612-173625, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2956830.

Information about the authors:

Kalekeyeva M.E. – corresponding author, doctoral student in the specialty “Aviation Engineering and Technology”, JSC “Academy of Civil Aviation”, st. Akhmetova 44, 050039, Almaty, Kazakhstan, 8-707-199-00-58, kalekeyeva.m@mail.ru

Muratbekova G.V. – c.t.s., docent, “Academy of Civil Aviation”, st. Akhmetova 44, 050039, Almaty, Republic of Kazakhstan, 8-701-414-04-07, gv170471@mail.ru

Konakbay Z.E. – c.t.s, associate professor of JSC “Academy of Civil Aviation”, st. Akhmetova 44, 050039, Almaty, Kazakhstan, 8-707-025-64-38, konakbay.zarina@mail.ru

Gozhakhmetova M.A. – teaching assistant of JSC "Academy of Civil Aviation", Akhmetov str. 44, 050039, Almaty, Kazakhstan, 8-705-355-88-66, kdrvmd@mail.ru

Vakhitova L.V. – Associate Professor of JSC «Mukhamedzhan Tynyshpaev ALT University», 97 Shevchenko Street, Almaty, Republic of Kazakhstan, 8-777-302-32-32, VakhitovaLV@mail.ru

Қалекеева М.Е. – автор для корреспонденции, докторант по специальности «Авиационная техника и технологии», АО «Академия гражданской авиации», ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-707-199-00-58, kalekeeva.m@mail.ru

Муратбекова Г.В. – к.т.н., доцент, АО «Академия гражданской авиации», ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-701-414-04-07, gv170471@mail.ru

Конакбай З.Е. – к.т.н., асоц. профессор АО «Академия гражданской авиации», ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-707-025-64-38, konakbay.zarina@mail.ru

Гожяхметова М.А. – ассистент- преподаватель АО «Академия гражданской авиации», ул. Ахметова 44, 050039, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-705-355-88-66, kdrvmd@mail.ru

Вахитова Л.В. – ассоциированный профессор АО «АЛТ Университет имени Мухамеджана Тынышпаева», ул. Шевченко 97, г.Алматы, Республика Казахстан, 8-777-302-32-32, VakhitovaLV@mail.ru

Қалекеева М.Е. – хат-хабар авторы, «Авиациялық техника және технологиялар» мамандығының докторанты, «Азаматтық авиация академиясы» АҚ, Ахметова көшесі, 44, 050039, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 8-707-199-00-58, kalekeeva.m@mail.ru

Муратбекова Г.В. – т.ғ.к., доцент, «Азаматтық авиация академиясы» АҚ, Ахметова көшесі, 44, 050039, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 8-701-414-04-07, gv170471@mail.ru

Қонақбай З.Е. – т.ғ.к., асоц. профессор, «Азаматтық авиация академиясы» АҚ, Ахметов көшесі 44, 050039, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 8-707-025-64-38, konakbay.zarina@mail.ru

Гожяхметова М.А. – ассистент-оқытушы, «Азаматтық Авиация Академиясы» АҚ, Ахметов көшесі 44, 050039, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 8-705-355-88-66, kdrvmd@mail.ru

Вахитова Л.В. – «Мұхамеджан Тынышпаев атындағы АЛТ Университеті» АҚ қауымдас-тырылған профессоры, Шевченко к-сі, 97, Алматы қ., Қазақстан Республикасы, 8-777-302-32-32, VakhitovaLV@mail.ru



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 55.24.99

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-241-252>

Научная статья

Исследование возможности использования методов аддитивной технологии при ремонте деталей сельскохозяйственной техники

К.Т.Шеров¹, Д.И.Бердымуратова*¹, Б.Мырзахмет¹, А.А.Сагитов¹,
С.И.Мендалиева¹

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

(E-mail: didar.b.93_9393@mail.ru)

Аннотация. В настоящее время поддержания сельскохозяйственной техники в постоянном работоспособном состоянии является актуальной задачей. Исследования, выполненные по изучению состояния проблемы в условиях предприятий АПК РК, показали, что на качественную организацию работы сельхозтехники оказывает отрицательное влияние отсутствие централизованных ремонтно-восстановительных баз и производств. Из-за этого невозможно своевременно и качественно выполнять ремонтно-восстановительные работы, а также технические обслуживание сельскохозяйственных машин и техники. Эту проблему можно решить с помощью аддитивных технологий. С этой целью было исследованы существующие методы аддитивной технологии. В настоящее время, чтобы восстановить детали, используют селективную лазерную наплавку. Это такие методы, как DLMD-технология и LENS-технология (LaserEngineeredNetShaping). Было проведено экспериментальное исследование по изготовлению детали «вал-шестерня» с помощью 3D-принтера Stratasys F170 в лабораторных условиях кафедры «Технологические машины и оборудования» Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина.

Результаты показали, что время 3D-печати определяется размерами модели, плотностью и формой заполнения, а также толщиной слоя печати. Установлено, что увеличение толщины слоя оказывает двойное влияние на процесс 3D-печати - положительно сказывается на сокращении времени печати, но отрицательно сказывается на жесткости напечатанного образца. Использование аддитивной технологии в ремонтно-восстановительных работах, а также при изготовлении деталей сельскохозяйственной техники и машин является новым научным направлением. В связи с этим были определены перспективные задачи.

Ключевые слова: аддитивные технологии, ремонтно-восстановительные работы, сельскохозяйственная техника, износ, 3D-печать, 3d-модель, толщина слоя печати.

Поступила 13.09.2024. Доработана 16.09.2024. Одобрена 16.09.2024. Доступна онлайн 30.09.2024.

¹*автор по корреспонденции

Введение

В целях поддержания сельскохозяйственной техники в постоянном работоспособном состоянии важно организованно и своевременно решать проблемы ремонта и технического обслуживания техники. Производительная и бесперебойная работа технологических машин и оборудования зависит от способов организации ремонта. Актуальной проблемой на сегодня является восстановление деталей и узлов, ремонт которых существующими способами технологически невозможен. Отсутствие централизованных ремонтно-восстановительных баз для обслуживания предприятий агропромышленного комплекса Республики Казахстан (АПК РК) больше усугубляют эту проблему. Данную проблему максимально эффективно помогают решать появившиеся в последние десятилетия технологии добавочных производств (Additive manufacturing - AM), которые могут играть не только технологическую, но и организационную роль в ремонте машин. Добавочные технологии в ремонте помогут не только восстанавливать детали, но и изготавливать новые. Деталям современных конструкций машин и оборудования свойственны особенности быть легко заменяемыми вновь изготовленными деталями из других материалов и другими способами. Такая технология ремонта и восстановления деталей позволяет обеспечить надлежащий ресурс техники при относительно низких затратах.

Аддитивный процесс может быть как непосредственным, когда они дают возможность сделать готовую деталь, так и косвенным, когда AM-технологии позволяют разработать оснастки или инструмент, которые далее используются в производстве.

Современное производство использует различные виды таких технологий, которые отличаются материалами и применяемым оборудованием. Последовательность работ можно представить следующим образом. (рисунок 1) [1].

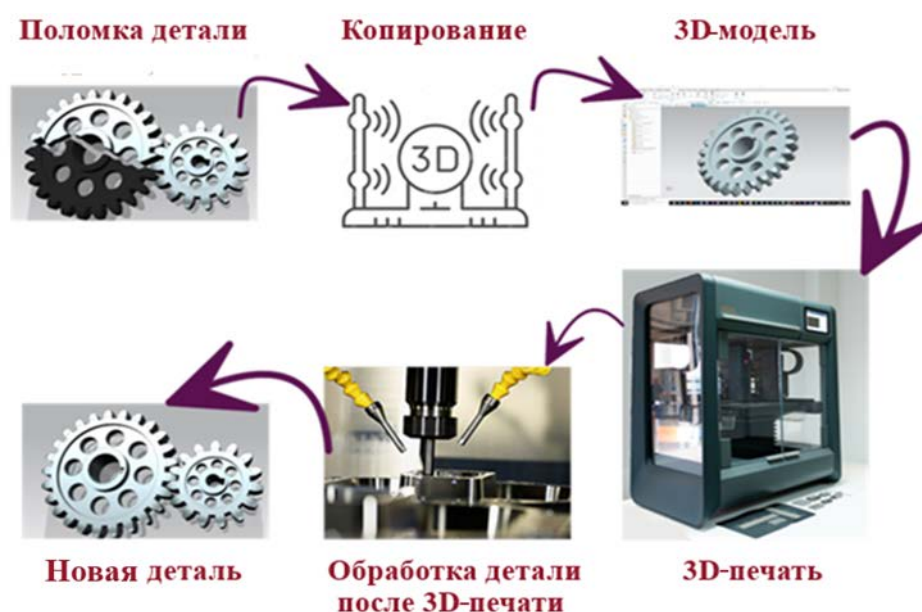


Рисунок 1. Модель изготовления детали по AM-технологии

Методология

Использование АМ-технологий при восстановлении изношенных деталей становится распространенным и эффективным решением по обеспечению работоспособного состояния технического парка в любой отрасли. В аграрном же секторе это еще более актуально, так как использование АМ-технологий приводит к сокращению времени простоя машино-тракторного парка по техническим причинам и времени устранения отказа. Следует заметить, что в конструкциях сельскохозяйственных машин наиболее уязвимым считается восстановление деталей зубчатых передач и деталей тел вращения, имеющие определенные площади сопрягаемых поверхностей. Важно отметить, что эффективность восстановления определяется обеспечением надлежащей межремонтной наработки или ресурса.

Подобные исследования были проведены коллегами из Белорусского агротехнического университета и по некоторым направлениям имеются определенные результаты [1, 2, 3, 4].

На рис. 2 показано, как восстанавливается вал по LENS-технологии. Если ремонтировать обычным способом, т.е. наплавкой, то вал может быть деформирован. Но в нашем случае лазерное напыление помогает избежать этого. При напылении был нанесен порошок Co-28Cr-4,5W. Основной материал - сталь марки 9ХС.



а)



б)

Рисунок 2. Процесс восстановления вала: после нанесения слоя (а); после финишной обработки (б)



Рисунок 3. Восстановление изношенного вала

При LENS-технологии можно использовать разные металлы и сплавы. Самое главное преимущество – это одновременное использование двух или нескольких материалов. Оборудование обеспечивает такую подачу. Кроме этого, технология дает возможность улучшить качество поверхности обрабатываемой детали. Здесь можно отметить, что наряду с процессом восстановления осуществляется и процесс упрочнения.

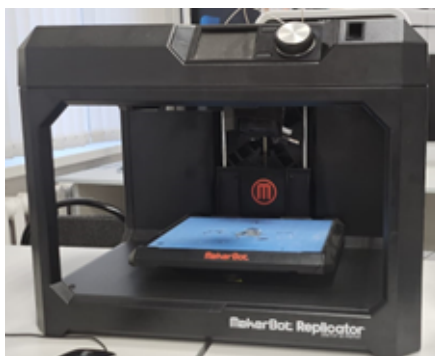
Результаты и Обсуждение

Исследования по использованию методов аддитивной технологии при изготовлении деталей были выполнены в лабораторных условиях кафедры «Технологические машины и оборудования» (ТМО) Казахского агротехнического исследовательского университета имени С. Сейфуллина (КазАТИУ).

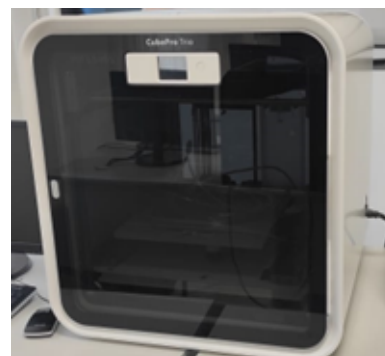
В лаборатории кафедры ТМО имеются несколько видов 3D-принтеров, в том числе 3D-принтер Stratasys F170, который предназначен для точной печати инженерными пластиками по технологии FDM/FFF и может использоваться для производства надежных аксессуаров, прототипов и деталей машин. На рисунке 4 показаны фотографии 3D-принтеров, имеющих на кафедре ТМО.



а)



б)



в)

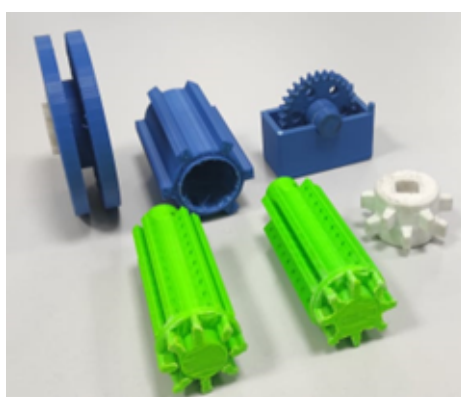
а – 3D-принтер Stratasys F170; б – 3D-принтер MakerBot Replicator; в – 3D-принтер CubePro Trio

Рисунок 4. Фотографии 3D-принтеров

На рисунке 5 показаны детали, изготовленные на 3D-принтерах.



а)



б)

а – детали, изготовленные на 3D-принтере Stratasys F170; б – детали, изготовленные на 3D-принтере MakerBotReplikator

Рисунок 5. Детали, изготовленные на 3D принтерах

Подготовка образца для 3D-печати начинается с построения 3d-модели детали по программам 3D-модели. На рисунке 6 показан процесс построение 3d-модели детали «вал-шестерня» в программе Компас 3D.

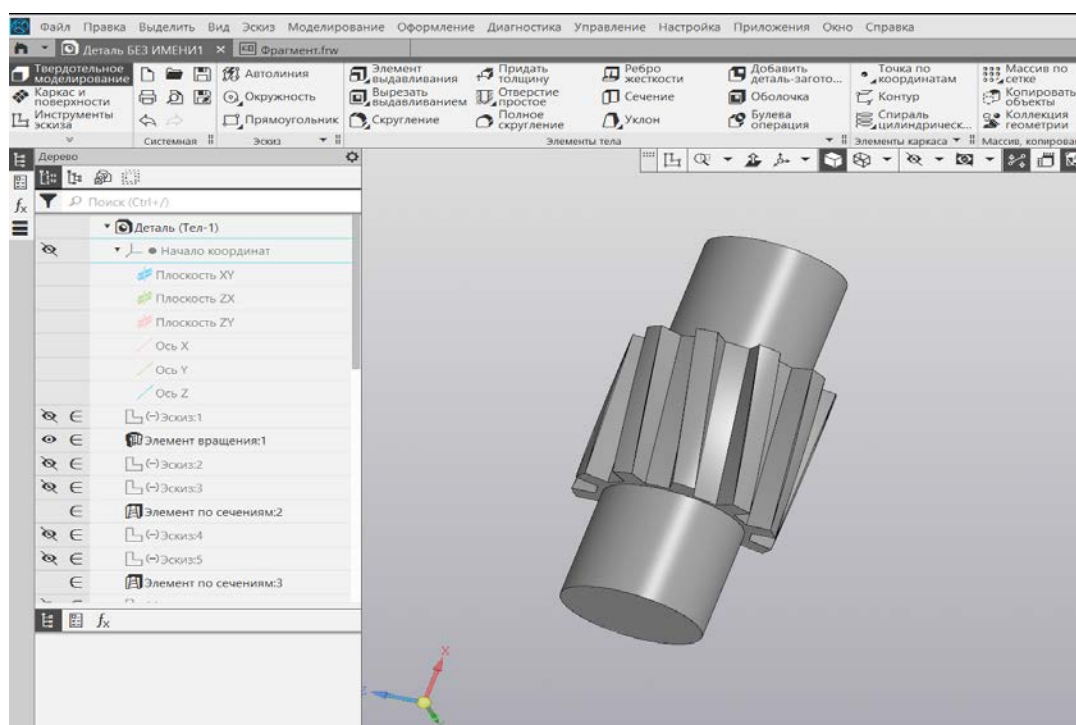


Рисунок 6. 3D-модель детали «вал-шестерня» в программе Компас 3D

3d-модель детали, построенная в программе Компас 3D, сохраняется в формате STL-файл. Созданный STL-файл открывается в специальных программах для 3D-принтеров (Makerbot, CubePro, PrusaSlicer и др.). На рисунке 7 показана импортированная 3d-модель детали в программе PrusaSlicer.

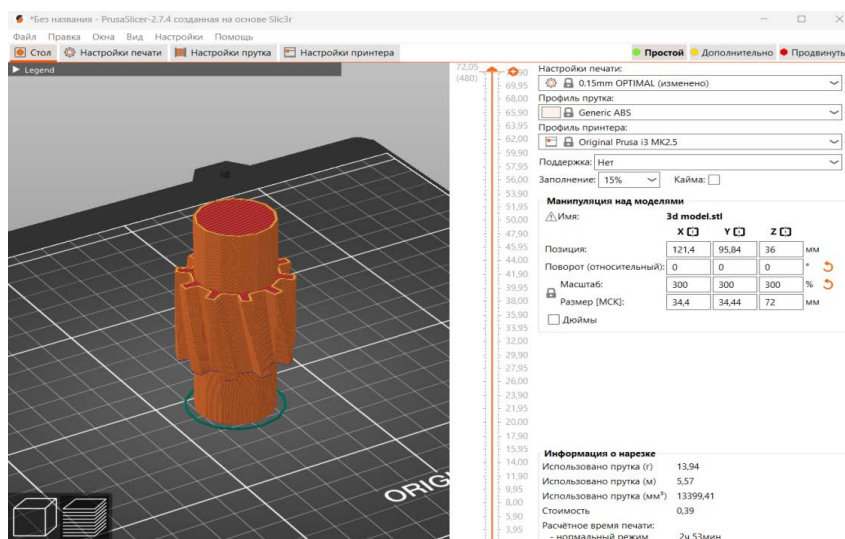


Рисунок 7. Импортированная 3d-модель детали в программе PrusaSlicer

В программе можно произвести настройку 3D-принтера, пластика и 3D-печати. Также можно выставить параметры поддержек и плотность заполнения модели, включить или выключить кайму и произвести манипуляции с моделью: повернуть, масштабировать и так далее.

Время 3D-печати напрямую зависит не только от размеров модели, но и от плотности и формы заполнения, а также от толщины слоя печати (рисунок 8).

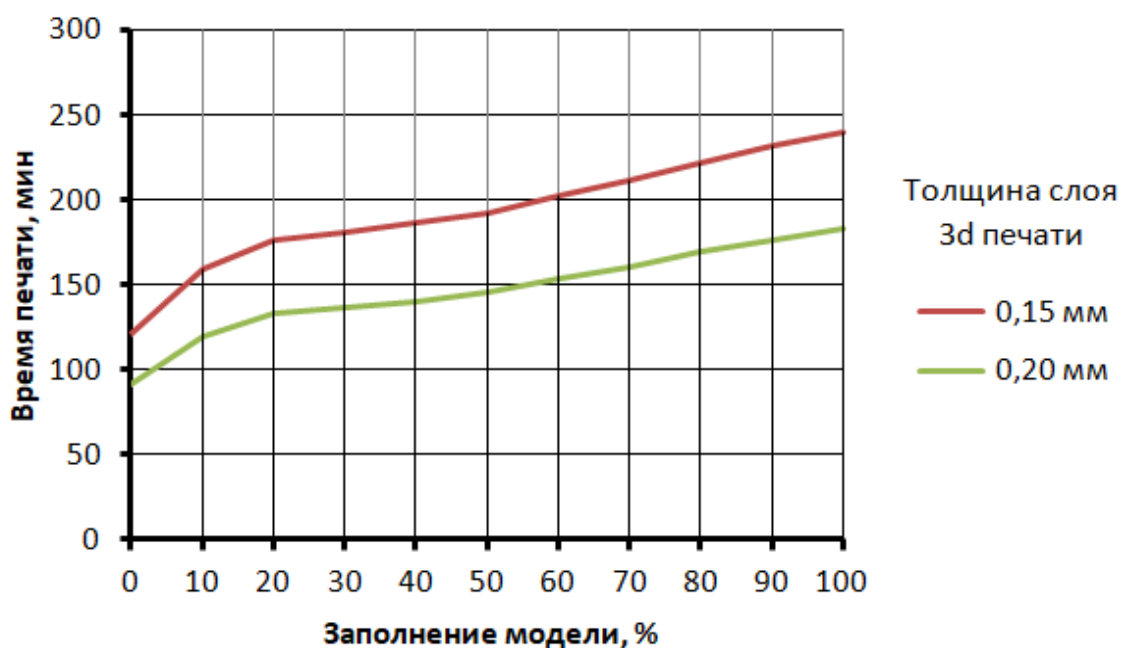


Рисунок 8. Зависимость времени 3D-печати от заполнения формы и от толщины слоя

Для быстрой печати можно использовать низкие значения заполнения для экономии материала, но чем ниже плотность, тем меньше опор для стенок, а значит тем проще сломать оболочку. Увеличение толщины слоя при печати дает возможность сократить время печати (рисунок 8), но увеличение толщины слоя отрицательно сказывается на жесткости напечатанного образца.

В процессе выполнения проекта AP23489364 «Использование аддитивных технологий при ремонте сельскохозяйственных машин с оптимизацией процесса путем моделирования и экспериментального исследования» будет приобретено оборудование с более широкой технологической возможностью, позволяющие изготовить детали более сложной конфигурации, а также восстановить отдельные изношенные места деталей сельскохозяйственной техники.

Данное научное направление является новым для отечественной науки и производства. В дальнейших исследованиях необходимо выполнение следующих работ:

– разработка алгоритма использования методов аддитивной технологии для восстановления и изготовления деталей сельскохозяйственной техники в ремонтном производстве;

- установление закономерности влияния режимов процесса формирования слоя на свойства и физическую прочность изготовленной детали;
- разработка методики моделирование и исследование процесса послойного синтеза 3D-печати и влияние толщины слоя на качество изготовления детали;
- установление закономерности влияния температуры на показатели качества при получении деталей методом аддитивной технологии.

В результате использования АМ-технологий для восстановления и изготовления деталей сельскохозяйственной техники значительно упрощается логистика и сокращается время поставки запчастей, ускоряется ремонт и уменьшаются объемы складских запасов, что может привести к кардинальному изменению принципов организации всей работы ремонтных предприятий.

Заключение

Выполненные исследования в условиях предприятий АПК РК показали, что существует проблема при восстановлении и изготовлении деталей сельскохозяйственной техники и машин. Из-за отсутствия централизованных ремонтно-восстановительных баз невозможно своевременно и качественно выполнять ремонтно-восстановительные работы, а также техническое обслуживание сельскохозяйственных машин и техники. Решить эту проблему можно путем применения АМ-технологий для ремонта и изготовления деталей сельскохозяйственной техники и машин.

Для восстановления детали используют селективную лазерную наплавку. Это такие методы, как DLMD-технология и LENS-технология (LaserEngineeredNetShaping).

Результаты изготовления детали «вал-шестерня» с помощью 3D-принтера Stratasys F170 показали, что время 3D-печати определяется размерами модели, плотностью и формами заполнения, а также толщиной слоя печати.

Установлено, что увеличение толщины слоя оказывает двойное влияние на процесс 3D-печати – положительно сказывается на сокращении времени печати, но отрицательно сказывается на жесткости напечатанного образца. Использование аддитивной технологии в ремонтно-восстановительных работах, а также при изготовлении деталей сельскохозяйственной техники и машин является новым научным направлением. В связи с этим были определены задачи дальнейших исследований.

Подтверждение

Научное исследование выполнено в рамках грантовой темы AP23489364 «Использование аддитивных технологий при ремонте сельскохозяйственных машин с оптимизацией процесса путем моделирования и экспериментального исследования», которая финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

Вклад авторов:

К.Т.Шеров – концепция, методология, корректировка, получение финансирования.

Д.И.Бердымуратова – разработка программы, проведение эксперимента, сбор и обработка данных.

Б.Мырзахмет – моделирование, интерпретация, обработка результатов.

А.А.Сагитов – визуализация, анализ, получение финансирования.

С.И.Мендалиева – обзор существующих технологий, исследование состояние проблемы, выводы.

Список литературы

1. Толочко Н.К., Нукешев С.О., Романюк Н.Н. Мендалиева С.И. Под ред. Н.К. Толочко. Аддитивные технологии в производстве и ремонте машин: учебное пособие. – Нур-Султан: КАТУ им. С. Сейфуллина, 2022. – 176 с.

2. Толочко Н.К. Аддитивное производство деталей сельскохозяйственных машин / Толочко Н.К., Романюк Н.Н., Авраменко П.В., Сокол О.В. // Исследования, результаты (Алматы). – 2020. –№4. –С. 335-344.

3. Толочко Н.К. Проектирование и аддитивное производство деталей машин / Н.К. Толочко, П.В. Авраменко, О.В. Сокол, А.А. Груша, Д.И. Копчик // Агропанорама. – 2020. – №4. С. – 2-7.

4. Толочко Н.К. Аддитивные технологии и высшая школа / Толочко Н.К., Романюк Н.Н., Авраменко П.В.// Вышэйшая школа. – 2021. – № 1. – С. 38–43.

5. Griffiths R.J., Wilson-Heid A.E., Linne M.A., Garza E.V., Wright A., Martin A.A. Additive Friction Stir Deposition of a Tantalum–Tungsten Refractory Alloy. J. Manuf. Mater. Process.2024,8, 177. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040177>

6. Aronne M., Polano M., Bertana V., Ferrero S., Frascella F., Scaltrito L., Marasso S.L. Application of 3D and 4D Printing in Electronics. J. Manuf. Mater. Process.2024,8, 164. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040164>

7. Ludwig I., Gerassimenko A., Imgrund P. Investigation of Metal Powder Blending for PBF-LB/M Using Particle Tracing with Ti-6Al-4V. J. Manuf. Mater. Process.2024,8, 151. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040151>

К.Т. Шеров, Д.И. Бердімұратова*, Б. Мырзахмет, А.А. Сагитов, С.И. Мендалиева

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

Ауыл шаруашылығы машиналарының бөлшектерін жөндеуде аддитивті технология әдістерін қолдану мүмкіндігін зерттеу

Андатпа. Қазіргі уақытта ауыл шаруашылығы техникасын тұрақты жұмыс жағдайында ұстау өзекті міндет болып табылады. ҚР АӨК кәсіпорындары жағдайындағы проблемалардың жай-күйін зерделеу бойынша жүргізілген зерттеулер ауыл шаруашылығы техникасының жұмысын сапалы ұйымдастыруға орталықтандырылған жөндеу-қалпына келтіру базалары мен

өндірістердің болмауы теріс әсер ететінін көрсетті. Осыған байланысты жөндеу-қалпына келтіру жұмыстарын, сондай-ақ ауыл шаруашылығы машиналары мен техникаларына техникалық қызмет көрсетуді уақтылы және сапалы орындау мүмкін емес.

Бұл мәселені шешу үшін ауылшаруашылық техникасы мен машиналарының бөлшектерін жөндеу және дайындау кезінде АӨ технологияларын қолдану ұсынылады. Осы мақсатта аддитивті технологияның қолданыстағы әдістері зерттелді. С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университетінің «Технологиялық машиналар мен жабдықтар» кафедрасының зертханалық жағдайында Stratasys F170 3D принтерінің көмегімен «білік-тістегеріш» бөлшегін жасау бойынша эксперименттік зерттеу жүргізілді. Нәтижелер 3D басып шығару уақыты модель өлшемдеріне ғана емес, сонымен қатар толтыру тығыздығы мен пішініне және басып шығару қабатының қалыңдығына тікелей байланысты екенін көрсетті.

Қабаттың қалыңдығының артуы 3D басып шығару процесіне екі есе әсер ететіні анықталды басып шығару уақытының қысқаруына оң әсер етеді, бірақ басып шығарылған үлгінің қаттылығына теріс әсер етеді.

Түйін сөздер: Аддитивті технологиялар, жөндеу және қалпына келтіру жұмыстары, ауылшаруашылық техникасы, тозу, 3D басып шығару, 3D моделі, басып шығару қабатының қалыңдығы.

K.T. Sherov, D.I. Berdimuratova*, B. Myrzahmet, A.A. Sagitov, S.I. Mendaliev

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

Study of the possibility of using additive technology methods in the repair of agricultural machinery parts

Abstract. Currently, maintaining agricultural machinery in a constant working condition is an urgent task. Studies carried out to study the state of the problem in the conditions of agricultural enterprises of the Republic of Kazakhstan have shown that the lack of centralized repair and restoration bases and production facilities has a negative impact on the quality organization of agricultural machinery. Because of this, it is impossible to carry out repair and restoration work in a timely and high-quality manner, as well as technical maintenance of agricultural machinery and equipment. To solve this problem, it is proposed to use AM technologies in the repair and manufacture of parts of agricultural machinery and machines. To this end, the existing methods of additive technology were investigated. An experimental study was conducted on the manufacture of a «shaft-gear» part using a Stratasys F170 3D printer in the laboratory of the Department of «Technological Machines and Equipment» of the Kazakh Agrotechnical Research University named after S. Seifullin.

The results showed that the time of 3D printing directly depends not only on the size of the model, but also on the density and shape of the filling, as well as on the thickness of the printing layer. It was found that an increase in the thickness of the layer has a twofold effect on the 3D printing process - it has a positive effect on reducing the printing time, but it has a negative effect on the rigidity of the printed sample.

Keywords. Additive technologies, repair and restoration work, agricultural machinery, wear, 3D printing, 3d model, thickness of the printing layer.

References

1. Tolochko N.K., Nukeshev S.O., Romanyuk N.N. Mendaliyeva S.I. Pod red. N.K. Tolochko. Additivnyye tekhnologii v proizvodstve i remonte mashin: uchebnoye posobiye. – Nur-Sultan: KATU im. S. Seyfullina, 2022. – 176 s.
2. Tolochko N.K. Additivnoye proizvodstvo detaley sel'skokhozyaystvennykh mashin / Tolochko N.K., Romanyuk N.N., Avramenko P.V., Sokol O.V. // Issledovaniya, rezul'taty (Almaty). – 2020. – №4. – S. 335-344.
3. Tolochko N.K. Proyektirovaniye i additivnoye proizvodstvo detaley mashin / N.K. Tolochko, P.V. Avramenko, O.V. Sokol, A.A. Grusha, D.I. Kopchik // Agropanorama. – 2020. – №4. S. – 2-7.
4. Tolochko N.K. Additivnyye tekhnologii i vysshaya shkola / Tolochko N.K., Romanyuk N.N., Avramenko P.V. // Vysheyshaya shkola. – 2021. – № 1. – S. 38–43.
5. Griffiths R.J., Wilson-Heid A.E., Linne M.A., Garza E.V., Wright A., Martin A.A. Additive Friction Stir Deposition of a Tantalum–Tungsten Refractory Alloy. J. Manuf. Mater. Process. 2024, 8, 177. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040177>
6. Aronne M., Polano M., Bertana V., Ferrero S., Frascella F., Scaltrito L., Marasso S.L. Application of 3D and 4D Printing in Electronics. J. Manuf. Mater. Process. 2024, 8, 164. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040164>
7. Ludwig I., Gerassimenko A., Imgrund P. Investigation of Metal Powder Blending for PBF-LB/M Using Particle Tracing with Ti-6Al-4V. J. Manuf. Mater. Process. 2024, 8, 151. <https://doi.org/10.3390/jmmp8040151>

Сведения об авторах:

К.Т. Шеров – доктор технических наук, профессор, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62, город Астана, Республика Казахстан.

Д.И. Бердімұратова – докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62, город Астана, Республика Казахстан.

Б. Мырзахмет – докторант, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62, город Астана, Республика Казахстан.

А.А. Сағитов – PhD, старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62, город Астана, Республика Казахстан.

С.И. Мендалиева – к.т.н, старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62, город Астана, Республика Казахстан.

К.Т. Шеров – техника ғылымдарының докторы, профессор, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

Д.И. Бердімұратова – докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

Б. Мырзахмет – докторант, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

А.А. Сағитов – PhD докторы, аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

С.И. Мендалиева – т.ғ.к., аға оқытушы, С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы.

K.T. Sherov – Doctor of Technical Sciences, Professor, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Zhenis Avenue 62, Astana, Republic of Kazakhstan.

D.I. Berdimuratova – doctoral student, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Zhenis Avenue 62, Astana, Republic of Kazakhstan.

B. Myrzakmet – doctoral student, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Zhenis Avenue 62, Astana, Republic of Kazakhstan. S.Seifullin University, 62 Zhenis Avenue, Astana city, Republic of Kazakhstan.

A.A. Sagitov – PhD, Senior lecturer, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Zhenis Avenue 62, Astana city, Republic of Kazakhstan.

S.I. Mendaliev – PhD, Senior lecturer, Kazakh Agrotechnical Research University named after S.Seifullin, Zhenis Avenue 62, Astana city, Republic of Kazakhstan.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 55.42.27

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-253-264>

Научная статья

Повышение износостойкости и эффективности работы поршневого уплотнения двигателей внутреннего сгорания

А.К. Каукаров^{*1}, Г.Б. Бакыт², Б.У. Жаманбаев³, Г.К.Саменов³,
А.Б.Забиева³, Н.С. Сауханов¹

¹ Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актюбе, Казахстан

² Mukhametzhan Tynysbayev ALT University, Алматы, Казахстан

³ Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, Казахстан

(E-mail: *altynbek-79@mail.ru)

Аннотация. В статье исследуются особенности работы поршневых колец в двигателях внутреннего сгорания и предлагается новая конструкция для повышения их износостойкости и эффективности. Поршневое кольцо критично для герметизации камеры сгорания, может создавать трение, которое влияет на долговечность двигателя и его эффективность. В условиях высокой нагрузки и частого износа важность улучшения конструктивных решений становится очевидной.

Предложенная конструкция поршневого кольца включает инновационное использование графита в качестве твердой смазки для снижения трения и улучшения герметичности. В результате изменений в конструкции, основанных на графитовой основе и ступенчатых стыках, достигнуто значительное снижение потерь на трение и улучшение герметизации. Испытания на опытной установке подтвердили эффективность предложенной конструкции, показав снижение трения и потерь энергии, что положительно сказалось на сроке службы двигателя и его общей производительности.

Полученные результаты демонстрируют перспективность применения предложенного решения как для традиционных двигателей, использующих моторное масло, так и для двигателей с безмасляным картером. В дальнейшем планируется создание стенда для более детального тестирования и оптимизации конструкции поршневых полуколец, что поможет обеспечить максимальные рабочие характеристики и долговечность двигателей.

Ключевые слова: поршневые кольца, двигатель внутреннего сгорания, сухое поршневое уплотнение, графитовый слой, трение компрессионных колец.

Поступила 14.09.2024. Доработана 15.09.2024. Одобрена 16.09.2024. Доступна онлайн 30.09.2024

^{1*}автор для корреспонденции

Введение

Двигатель внутреннего сгорания, являющийся одним из символов второй промышленной революции, продолжает играть важную роль в различных отраслях, особенно в транспортном секторе. В Казахстане спрос на автомобили с двигателями внутреннего сгорания остается высоким. Одним из ключевых элементов работы таких двигателей является герметизация камеры сгорания, которую обеспечивает поршень. Это уплотнение создается с помощью поршневого кольца, установленного в канавке поршня. Поршневое кольцо – важнейший компонент, отвечающий за герметизацию пространства между поршнем и стенкой цилиндра, что позволяет добиться эффективного сгорания топлива и максимальной производительности двигателя.

Однако при этом поршневые кольца создают трение, двигаясь возвратно-поступательно вдоль стенок цилиндра для поддержания герметичности. Из-за компактной конструкции двигателя и сложных условий эксплуатации, взаимодействие поршневого кольца с цилиндром становится критическим фактором, влияющим на долговечность двигателя внутреннего сгорания. Износ поршневых колец может привести к неполному сгоранию топлива, что увеличивает расход топлива и выбросы. Поэтому конструкция поршневых колец имеет важное значение [1]. Износ механических компонентов в процессе эксплуатации сильно влияет на долговечность машин во многих отраслях [2]. Соответственно, исследование износостойкости поршневых колец давно стало важным направлением для повышения срока службы двигателей внутреннего сгорания [3].

Основная задача поршневых колец – герметизация камеры сгорания, однако они не обеспечивают идеальной герметичности. Часть топливно-воздушной смеси может просачиваться в картер коленчатого вала, что известно как продувочный газ. Кроме того, часть этих газов может возвращаться в камеру сгорания (обратная продувка) и выбрасываться в виде несгоревших углеводородов. Продувка негативно сказывается на эксплуатационных характеристиках двигателя, снижая пиковое давление [4], а также влияет на смазку и увеличивает выбросы масла в атмосферу [5-8].

Механические свойства материалов поршневых колец можно улучшить с помощью технологий модификации поверхности, которые значительно уменьшают трение в зоне контакта цилиндро-поршневой группы [9]. Например, такие методы, как нанесение циркониевой керамики на поршневые кольца с помощью плазменного напыления, помогают снизить износ [10]. Лазерная обработка в сочетании с добавлением керамических зерен для обработки поверхности эффективно повышает износостойкость и снижает трение поршневых колец [11]. Также нанесение алмазоподобного углеродного покрытия методом физического осаждения из паровой фазы приводит к значительному снижению коэффициента трения [12].

Двигатель внутреннего сгорания функционирует как тепловой двигатель, в котором тепло, выделяющееся при сгорании топливно-воздушной смеси, преобразуется в механическую мощность. Ключевым элементом в этой системе является цилиндро-поршневая группа, где износ имеет критическое значение, так как потери энергии приводят к неисправностям двигателя [13]. Потери на трение в двигателе составляют от

4 до 15% расхода топлива [14]. При этом около 75% этих потерь приходится на цилиндро-поршневую группу, из которых более половины связаны с поршневыми кольцами. Таким образом, улучшение трения между поршневым кольцом и гильзой цилиндра представляет собой значительный потенциал для повышения общей эффективности и увеличения срока службы двигателей внутреннего сгорания [15].

В ходе данного исследования были изучены поршневые кольца и механические потери, связанные с ними. Мы обнаружили, что разработанный прототип, направленный на снижение трения, продемонстрировал отличные характеристики по снижению сопротивления и сдвига.

Методология

Для увеличения ресурса цилиндро-поршневой группы предложен ряд мер, включая нанесение графитового покрытия на материал верхнего поршневого кольца, изменение его конструкции, а также получено авторское свидетельство (см. рис. 1).

Разработана конструкция уплотнительных колец с контактной поверхностью, на которую нанесено графитовое покрытие [16]. Применение графита в качестве твердой смазки было выбрано таким образом, чтобы его влияние на триботехнические свойства металлического материала обеспечивало аналогичный эффект, способствуя прочной связи между элементами и снижению износа контактирующих поверхностей. Для стали, графита и материалов, изготовленных на его основе, коэффициент трения составляет 0,15–0,20 [4].

На рис. 1 проиллюстрированы разрез полукольца на графитовой основе: металл (бронза и сталь) 1 и графитовое заполнение 2. На рис. 2 проиллюстрирован вид кольца, где: 1 – зазор между полукольцами; 2 – ширина полукольца; 3 – скользящая поверхность стыковки.

В разработанной конструкции два полукольца из бронзы или стали размещены в модифицированной кольцевой канавке поршня. Полукольца соединены через ступенчатое соединение в вертикальной плоскости, при этом первое полукольцо расположено под углом 90° относительно второго. Для обеспечения контакта со стенкой цилиндра полукольца прижимаются пружинами. При износе ступенчатых колец зазор в ступенчатых соединениях увеличивается, и полукольца скользят друг по другу, пока не достигнут предельных допустимых размеров, предотвращая прохождение газов через замки колец в пространство под ними (см. рис. 2).

Целью предлагаемого конструкторского решения является предотвращение прохождения газов через ступенчатые замки с половинным кольцом, что позволяет увеличить сжатие в цилиндре и обеспечить работу поршневых колец в режиме граничной смазки при плохой системе смазки.

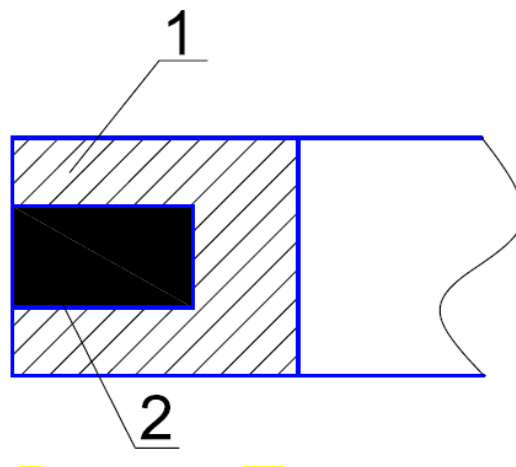


Рисунок 1. Вид в разрезе полукольца на графитовой основе

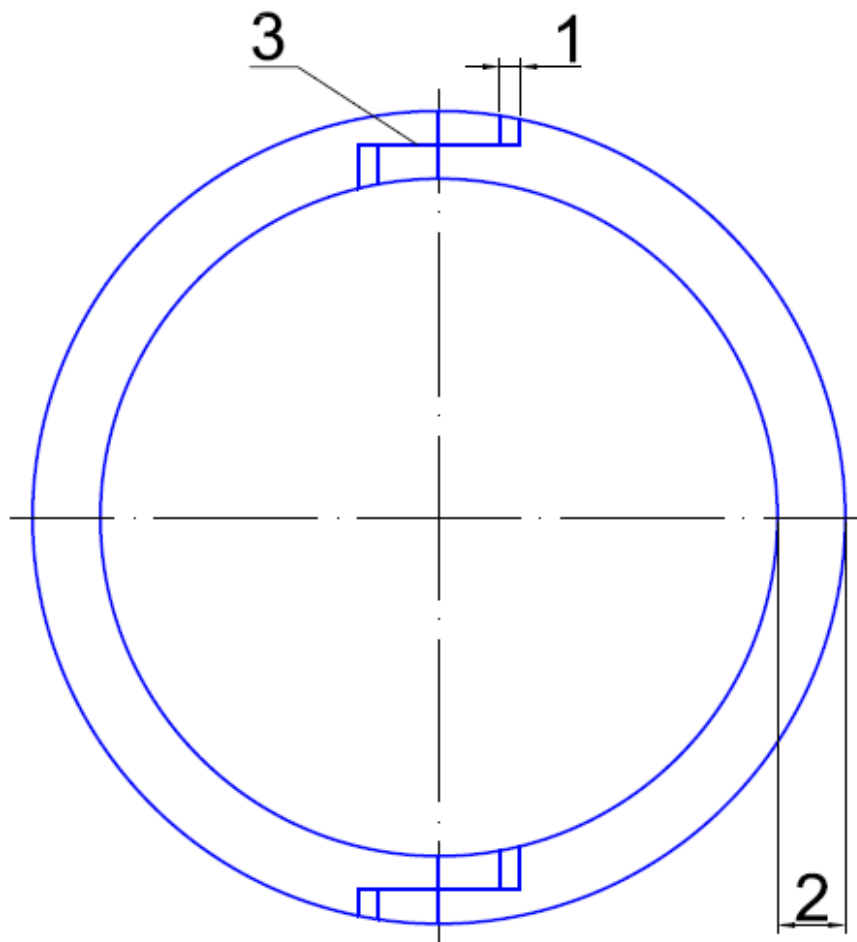


Рисунок 2. Конструкция стыковки полуколец

Данная функция реализуется за счёт графитовой основы, которая предназначена для накопления смазочных свойств и их равномерного распределения по поверхности цилиндровой втулки при граничном перемещении поршня. Ступенчатое замковое отверстие кольца было спроектировано таким образом, чтобы обеспечить тепловой зазор, необходимый для компенсации линейного расширения металла при повышении температуры.

Конструкция предназначена для предотвращения проникновения газов через поршневое кольцо и замок на такте сгорания, за которым следует такт расширения в нижнее пространство поршня. Это достигается плотным прилеганием первого кольца ко второму, что полностью блокирует потерю выхлопных газов под высоким давлением из камеры сгорания. Такая конструкция также помогает устранить вибрацию, возникающую на концах замка кольца, благодаря плотному прилеганию компрессионных колец.

Отличие полукольца от традиционного кольца состоит в том, что для обеспечения плотного прилегания цилиндрической поверхности кольца они должны быть свободно подвижными, что обеспечивается использованием пружин. Учитывая температурное расширение в процессе горения, кольца устанавливаются в кольцевую канавку поршня с учетом этого фактора. При перемещении поршня вверх и вниз кольца прижимаются к верхней или нижней торцевой поверхности кольцевой канавки из-за трения.

В процессе горения топливной смеси в камере сгорания образуются газы высокого давления. Давление газа воздействует на верхнюю поверхность кольца, перемещая пакет колец вниз в пределах зазора. Газы проникают в зазор над верхним кольцом и заполняют внутреннюю полость кольца, что создаёт дополнительную силу прижатия колец к стенкам цилиндра, помимо давления пружин на зеркало цилиндра.

Принцип работы предлагаемой конструкции заключается в следующем: в такте сжатия поршень перемещается к верхней мертвой точке, что вызывает повышение давления. Давление равномерно распределяется по поверхности полукольца, сжимая его к стенкам цилиндра с помощью как давления, так и пружины. Чтобы предотвратить утечку давления над поршнем, ступенчатые замки полукольца расположены под углом 90° друг к другу (см. рис. 1). Это конструктивное решение минимизирует прохождение выхлопных газов благодаря сопротивлению, создаваемому ступенчатым соединением полукольца.

Такое расположение замков обеспечивает эффективное уплотнение и предотвращает потерю давления, даже при увеличении кольцевого замка, что учитывает возможный износ внешних поверхностей частичного кольца. В полукольце выполнены канавки для графитового материала, которые создают смазочную пленку на поверхности цилиндра.

Аналогичная картина наблюдается и при перемещении поршня к нижней мёртвой точке.

Результаты исследования

Данная конструкция испытана на опытной установке с двигателем УД-2М мощностью 5,89 кВт и частотой вращения 3000 мин^{-1} . После демонтажа поршней была проведена

расточка канавок под поршневые полукольца до устранения износа кромок. Затем были выполнены замеры потерь на трение. Для установки в расточенные канавки использовались поршневые кольца, доработанные по форме и высоте, с графитовым покрытием (см. рис. 1 и 2). Традиционное второе компрессионное кольцо было удалено, поскольку высота доработанного кольца увеличена вдвое. В остальные канавки установлены стандартные маслосъемные кольца без модификаций.

Площадь контакта колец увеличилась с $1,8D$ до $4D$ за счет применения графитовой смазки и замены двух поршневых колец на одно полукольцо. Удельное давление компрессионных колец уменьшилось с 5 до $0,2 \text{ кг/см}^2$. Коэффициент трения без использования моторного масла составил 0,2.

По расчетам, потери на трение между цилиндром и поршнем даже без смазки составляют лишь около 15% от общих потерь на трение в цилиндро-поршневой группе двигателя. В традиционных двигателях потери на трение колец о стенки цилиндра составляют 36% от всех механических потерь. Энергозатраты на сдвиг колец в стандартной цилиндропоршневой группе составляют 50% от всех механических потерь.

Разработанная конструкция демонстрирует меньшее усилие для преодоления трения сдвига, что приводит к снижению энергозатрат по сравнению с традиционными поршневыми кольцами. Эти затраты составляют 58% при смазке и 15% без нее. Величина усилий сдвига поршня, измеренная по 10 замерам для стандартного поршня с комплектом компрессионных и маслосъемных колец, а также для цилиндра с поршнем с сухим уплотнением и графитовыми кольцами, представлена на рис. 4. Эти замеры позволяют проанализировать динамику трения в зависимости от различных условий уплотнения, обеспечивая точное сравнение между традиционным и модернизированным вариантами.

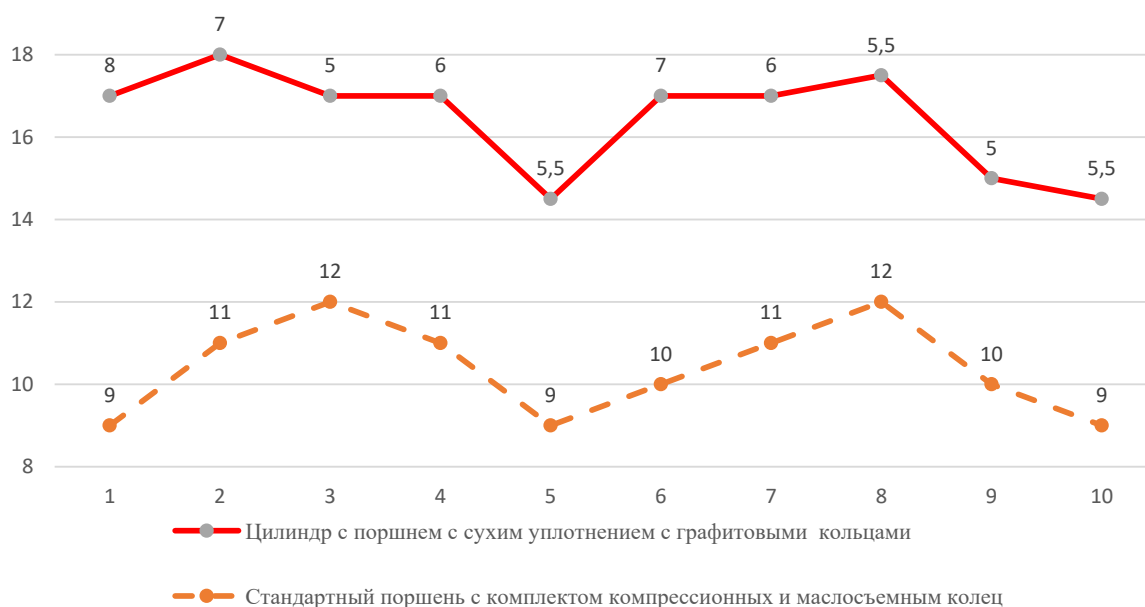


Рисунок 3. Величина усилий сдвига поршня со стандартным и сухим уплотнением

Результаты измерения силы трения в этой цилиндро-поршневой группе проводились методом сборки и разборки двигателя с целью определения. В заключение было признано, что результаты в целом являются удовлетворительными, и это позволяет рассматривать возможность дальнейшей эксплуатации данной конструкции. Таким образом, можно с уверенностью говорить о положительном влиянии предложенной конструкции на ресурс двигателя.

Заключение

1. В процессе горения, расширения и сжатия. Это достигается за счет ступенчатого стыка расположения двух полуколец, размещённых в одной расширенной поршневой канавке. При износе наружная поверхность этих колец сохраняет сжимающие свойства благодаря пружине со ступенчатыми соединениями. Такая конструкция предотвращает утечку выхлопных газов, снижает трение между кольцами и цилиндром, что, в свою очередь, повышает полезную мощность двигателя. Результаты экспериментальных измерений подтверждают увеличение срока службы деталей цилиндро-поршневой группы.

2. Конструкция применима как для традиционных двигателей с использованием смазки цилиндра моторным маслом, так и для двигателей с безмасляным картером, работающих с применением твердой смазки.

3. Конструкция полукольца при работе двигателя обеспечивает плотный контакт со стенкой цилиндра благодаря прижиму пружиной, что гарантирует постоянный герметичный контакт и исключает необходимость дополнительного усилия прижатия кольца к поверхности гильзы. Это, в свою очередь, минимизирует трение и снижает износ колец и гильзы.

4. В настоящее время разрабатывается стенд для проведения дополнительных испытаний, чтобы получить полную информацию о предлагаемой конструкции. С помощью стенда планируется определить оптимальность конструкции поршневых полуколец для обеспечения максимальных рабочих характеристик двигателя, таких, как увеличение давления сжатия и мощности двигателя.

Список литературы

1. Dziubak T., Dziubak S.D. A Study on the Effect of Inlet Air Pollution on the Engine Component Wear and Operation // *Energies*. – 2022. – 15(3):1182.
2. Du F., Li D., Hao M., Yu Y., Wang W. Simulation and Experimental Research on the Failure of Marine Sliding Bearings // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2023. – 11(1):61
3. Delprete C., Razavykia A. Piston ring–liner lubrication and tribological performance evaluation: A review. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol.* – 2018. 232. 193–209.
4. Zhao J.X., Lee Chia-fon F. Modeling of blow-by in a smallbore high-speed direct-injection optically accessible diesel engine // *SAE Technical Paper*. – 2006.

5. Froelund K., Yilmaz E. Impact of engine oil consumption on particulate emissions // In: ICAT international conference on automotive technology. – Istanbul, Turkey, – 2004.
6. Green R.M, Cloutman L.D. Planar LIF observations of unburned fuel escaping the upper ring-land crevice in an SI engine // SAE Technical Paper. – 1997.
7. Alkidas A.C.: Combustion-chamber crevices: the major source of engine-out hydrocarbon emissions under fully warmed conditions // Prog Energy Combust Sci. – 1999. - 25(3). – P. 253–273.
8. Arnault N, Bonne S. Engine lube-oil consumption stakes and benefits from significant blow-by oil mist reduction // SAE Technical Paper. – 2012.
9. Bolander N.W., Sadeghi F. Surface Modification for Piston Ring and Liner; Springer: Dordrecht, The Netherlands. – 2006.
10. Jayanth P., Sangeethkumar E. Investigation and Analysis of Wear Reduction in Piston Rings through Coating. Appl. Mech. Mater. – 2015. – P. 813–814.
11. Hui, W., Xia, W., Jin Y. A study on abrasive resistance of Ni-based coatings with a WC hard phase. Wear. – 1996. – 195. – P.47–52.
12. Tung S.C., Gao H. Tribological Investigation of Piston Ring Coatings Operating in an Alternative Fuel and Engine Oil Blend // Tribol. Trans. – 2002. – 45. – P.381–389.
13. Holmberg K., Andersson P., Erdemir A. Global energy consumption due to friction in passenger cars // Tribol. Int. – 2012. – 47. 221–234.
14. Wong W., Tung C. Overview of automotive engine friction and reduction trends–effects of surface, material, and lubricant-additive technologies // Friction – 2016. – 4. – P.1–28.
15. Taylor C.M. Automobile engine tribology-design considerations for efficiency and durability // Wear – 1998. – 221. – P.1–8.
16. Nuralin B., Kuanyshev M., Murzagaliev A., Kaukarov A., Utebayev I. Evaluation of the ratios of the main indicators of The dry sealing of the cylinder-piston group of internal Combustion engines using a solid lubricant // Transport problems – 2022 – Vol. 17. – P. 99-110.
17. Болсуновская Т.А., Ефимочкин И.Ю., Севостьянов Н.В., Бурковская Н.П. Влияние марки графита в качестве твердой смазки на триботехнические свойства металлического композиционного материала // Труды ВИАМ. – 2018. – №7 (67).

Вклад авторов

А.К. Каукаров – концепция, методология, корректировка, получение финансирования.

Г.Б. Бақыт – разработка программы, проведение эксперимента, сбор и обработка данных.

Б.У. Жаманбаев – моделирование, интерпретация, обработка результатов.

Г.К.Саменов – визуализация, анализ, получение финансирования.

А.Б.Забиева, Н.С.Сауханов – обзор существующих технологии, исследование состояние проблемы, выводы.

А.К. Каукаров*¹, Ғ.Б. Бақыт², Б.У. Жаманбаев³, Г.К.Саменов³, А.Б.Забиева³, Н.С. Сауханов¹

¹Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Қазақстан Республикасы, Ақтөбе қ.

²Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Қазақстан

³Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Қазақстан Республикасы, Астана қ.

Іштен жану қозғалтқыштарының поршеньдік тығыздағыш жұмысының тозуға төзімділігі мен тиімділігін арттыру

Аңдатпа. Мақалада ішкі жану қозғалтқыштарындағы поршеньдік сақиналардың жұмыс ерекшеліктері зерттеліп, олардың тозуға төзімділігі мен тиімділігін арттыру үшін жаңа конструкция ұсынылған. Жану камерасын тығыздау үшін поршеньдік сақина маңызды, ол қозғалтқыштың беріктігі мен тиімділігіне әсер ететін үйкеліс тудыруы мүмкін. Жоғары жүктеме және жиі тозу жағдайында конструкторлық шешімдерді жақсартудың маңыздылығы айқын болады.

Ұсынылған поршеньдік сақина конструкциясы үйкелісті азайту және тығыздауды жақсарту үшін графитті қатты майлаушы ретінде инновациялық пайдалануды қамтиды. Графит негізіндегі және сатылы буындарға негізделген конструкциядағы өзгерістер үйкеліс шығындарының айтарлықтай төмендеуіне және тығыздаудың жақсаруына қол жеткізді. Тәжірибелік қондырғыдағы сынақтар ұсынылған конструкцияның тиімділігін растады, үйкеліс пен энергия шығынының төмендеуін көрсетті, бұл қозғалтқыштың қызмет ету мерзіміне және оның жалпы өнімділігіне оң әсер етті.

Нәтижелер қозғалтқыш майын пайдаланатын дәстүрлі қозғалтқыштар үшін де, майсыз жұмыс істейтін қозғалтқыштар үшін де ұсынылған конструкторлық шешімді қолдану перспективасын көрсетеді. Болашақта поршеньді жартылай сақиналардың конструкциясын тереңірек зерттеу және оңтайландыру үшін стенд құру жоспарлануда, бұл қозғалтқыштардың максималды өнімділігі мен беріктігін қамтамасыз етуге көмектеседі.

Түйін сөздер: Поршеньдік сақиналар, Іштен жану қозғалтқышы, құрғақ поршеньді тығыздағыш, графит қабаты, сығымдау сақиналарының үйкелісі.

A.K. Kaukarov*¹, G.B. Bakyt, B.U. Zhamanbayev³, G.K.Samenov³, B.U. Zabayeva³, N.S. Saukhanov¹

¹Aktobe Regional University named after K. Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

²Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Almaty, Kazakhstan

³The L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Improvement of wear resistance and efficiency of piston internal combustion engine

Abstract. The article examines the specific features of piston ring operation in internal combustion engines and proposes a new design to improve their wear resistance and efficiency. The piston ring, critical for sealing the combustion chamber, can create friction that affects the engine's durability and efficiency. Under conditions of high load and frequent wear, the importance of improved design solutions becomes evident.

The proposed piston ring design includes the innovative use of graphite as a solid lubricant to reduce friction and enhance sealing. As a result of these design changes, based on a graphite coating

and stepped joints, significant friction loss reduction and improved sealing were achieved. Tests on a prototype confirmed the effectiveness of the proposed design, showing reduced friction and energy loss, which positively impacted engine lifespan and overall performance.

The results demonstrate the potential of the proposed solution for both traditional engines using motor oil and oil-free engines. Future plans include creating a test stand for more detailed testing and optimization of the piston ring segments, which will help ensure maximum engine performance and durability.

Keywords: Piston rings, Internal combustion engine, dry piston seal, graphite coating, compression ring friction.

References

1. Dziubak T, Dziubak S.D. A Study on the Effect of Inlet Air Pollution on the Engine Component Wear and Operation // *Energies*. – 2022. – 15(3):1182.
2. Du F, Li D, Hao M, Yu Y, Wang W. Simulation and Experimental Research on the Failure of Marine Sliding Bearings // *Journal of Marine Science and Engineering*. – 2023. – 11(1):61
3. Delprete C, Razavykia A. Piston ring–liner lubrication and tribological performance evaluation: A review. *Proc. Inst. Mech. Eng. Part J J. Eng. Tribol.* – 2018. 232. 193–209.
4. Zhao J.X., Lee Chia-fon F. Modeling of blow-by in a smallbore high-speed direct-injection optically accessible diesel engine // *SAE Technical Paper*. – 2006.
5. Froelund K, Yilmaz E. Impact of engine oil consumption on particulate emissions // In: ICAT international conference on automotive technology. – Istanbul, Turkey, – 2004.
6. Green R.M, Cloutman L.D. Planar LIF observations of unburned fuel escaping the upper ring-land crevice in an SI engine // *SAE Technical Paper*. – 1997.
7. Alkidas A.C.: Combustion-chamber crevices: the major source of engine-out hydrocarbon emissions under fully warmed conditions // *Prog Energy Combust Sci.* – 1999. - 25(3). – P. 253–273.
8. Arnault N, Bonne S. Engine lube-oil consumption stakes and benefits from significant blow-by oil mist reduction // *SAE Technical Paper*. – 2012.
9. Bolander N.W, Sadeghi F. *Surface Modification for Piston Ring and Liner*; Springer: Dordrecht, The Netherlands. – 2006.
10. Jayanth P, Sangeethkumar E. Investigation and Analysis of Wear Reduction in Piston Rings through Coating. *Appl. Mech. Mater.* – 2015. – P. 813–814.
11. Hui, W, Xia, W, Jin Y. A study on abrasive resistance of Ni-based coatings with a WC hard phase. *Wear*. – 1996. – 195. – P.47–52.
12. Tung S.C., Gao H. Tribological Investigation of Piston Ring Coatings Operating in an Alternative Fuel and Engine Oil Blend // *Tribol. Trans.* – 2002. – 45. – P.381–389.
13. Holmberg K, Andersson P, Erdemir A. Global energy consumption due to friction in passenger cars // *Tribol. Int.* – 2012. – 47. 221–234.
14. Wong W, Tung C. Overview of automotive engine friction and reduction trends–effects of surface, material, and lubricant-additive technologies // *Friction* – 2016. – 4. – P.1–28.
15. Taylor C.M. *Automobile engine tribology-design considerations for efficiency and durability* // *Wear* – 1998. – 221. – P.1–8.

16. Nuralin B., Kuanyshev M., Murzagaliev A., Kaukarov A., Utebayev I. Evaluation of the ratios of the main indicators of The dry sealing of the cylinder-piston group of internal Combustion engines using a solid lubricant // Transport problems – 2022 – Vol. 17. – P. 99-110.

17. Bolsunovskaya T.A., Efimochkin I.Yu., Sevostyanov N.V., Burkovskaya N.P. Influence of graphite grade as a solid lubricant on tribotechnical properties of a metal composite material // Proceedings of VIAM. – 2018. – №7 (67).

Сведения об авторе (авторах):

Каукаров А.К. – хат-хабар авторы, «Көлік техникасы, тасымалды ұйымдастыру және құрылыс» кафедрасының аға оқытушысы, Техникалық факультеті, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан.

Бақыт Ғ.Б. – PhD, қауымдастырылған профессор, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Қазақстан

Жаманбаев Б.У. – PhD, аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан.

Саменов Г.К. – техника ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан.

Забиева А.Б. – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көш., 2, Астана, Қазақстан.

Сауханов Н.С. – техника ғылымдарының кандидаты, «Көлік техникасы, тасымалды ұйымдастыру және құрылыс» кафедрасының доценті, Техникалық факультеті, Қ.Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

Каукаров А.К. – автор для корреспонденции, старший преподаватель кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и строительство», технический факультет, Актюбинский региональный университет имени К. Жубанова, Актөбе, Казахстан.

Бақыт Г.Б. – PhD, ассоциированный профессор, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Алматы, Казахстан.

Жаманбаев Б.У. – PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул.Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Саменов Г.К. – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул.Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Забиева А.Б. – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул.Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Сауханов Н.С. – канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и строительства» Актюбинский региональный университет им. К. Жубанова, Актөбе, Казахстан.

Kaukarov A.K. – corresponding author, master, senior lecturer of the Department "Transport Equipment, Organization of Transportation and Construction", NAO ARU named after K.Zhubanov. Aktobe, Kazakhstan

Bakyt G.B. – PhD, associate professor, Mukhametzhan Tynyshbayev ALT University, Almaty, Kazakhstan

Zhamanbayev B.U. – PhD, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str. 2, Astana, Kazakhstan.

Samenov G.K. – candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str. 2, Astana, Kazakhstan

Zabieva A.B. – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Satpayev str.2, Astana, Kazakhstan.

Saukhanov N.S. – candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Engineering, Organization of Transportation and Construction of the ARU named after K. Zhubanov. Aktobe, Kazakhstan.



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).



МРНТИ 73.41.39

DOI: <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-148-3-265-278>

Научная статья

Автоматизированная дорожная фреза для ремонта дорожных покрытий с переменной колеиностью

Н.С.Камзанов*¹, Р.А.Козбагаров², Ахметова Ш.Д.¹, Жунисбеков Б.Д.¹,
Т.С.Бекетов¹

¹ Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, г. Алматы, Республика Казахстан,

² АЛТУниверситет имени М. Тынышпаева, г. Алматы, Республика Казахстан

(E-mail: *n.kamzanov@satbayev.university)

Аннотация. Колееобразование на автомобильных дорогах Республики Казахстан выступает одной из главных причин, вызывающих рост вероятности дорожно-транспортных происшествий. Выпоры колеи нередко достигают значительных размеров, угнетая водителей своей высотой и шириной. Развитие автоматизированных дорожных фрез открыло новые горизонты в борьбе с этой проблемой, позволяя эффективно производить операции фрезерования в рамках мер по обеспечению безопасности дорожного движения.

За прошедший 30-летний период модифицировалась техника и предлагается использовать уже новую технику. Это автогрейдеры с автоматизированной системой «Профиль», самоходные катки с широкой возможностью по скоростному режиму и вибрации, мощные отечественные и импортные фрезы, ресайклеры, автоматизированные современные асфальтоукладчики, перегружатели асфальтобетонной смеси и т. д.

Разработана методика экспериментальных исследований и создан стенд с метрологическим оборудованием, которые позволяют моделировать сложный процесс фрезерования образцов асфальтобетона по силовому и координатному замыканию. В результате исследований получены уравнения регрессии, описывающие параметры фрезерования образцов асфальтобетона.

Установлено, что при переходе от силового (упругого) замыкания технологической системы к жесткому (координатному) уменьшаются погрешности фрезерования до 15 %, а их разброс – до 30 %.

Ключевые слова: фреза дорожная, покрытие асфальтобетонное, ямочный ремонт, режущий элемент, автомобильная дорога, рабочий орган, колея.

Поступила 16.09.2024. Доработана 17.09.2024. Одобрена 17.09.2024. Доступна онлайн 30.09.2024

^{1*}автор по корреспонденции

Введение

В Республике Казахстан был принят Закон «О техническом регулировании», в котором установлено, что техническое регулирование осуществляется в соответствии с принципами: применения единых правил установления требований к продукции, к процессам производства, эксплуатации; единства правил и методов исследований (испытаний) и измерений при проведении процедур обязательной оценки соответствия. По данному Закону в наступивших условиях рынка требования к параметрам работ в основном должны регламентироваться в договорах, обязательные требования – в национальных стандартах.

Актуальность совершенствования конструктивных и технологических параметров таких дорожных фрез не подлежит сомнению. Необходимо в кратчайшие сроки пересмотреть требования и допуски с учетом новейших технологий и оборудования, а также адаптировать их к Закону о техническом регулировании на основе основательных опытных исследований и анализа данных.

Преобразование в управлении фрезой от кинематического замыкания по силе к замыканию по координате позволит значительно уменьшить средние отклонения и вариации, что подтвердили проведенные эксперименты. Эффективность жесткого замыкания фрезерования была продемонстрирована, что создаст условия для более качественного строительства и ремонта дорог, обеспечивая их долговечность и безопасность.

Вместе с изменениями в требованиях к профилированию дорожных покрытий произошли и изменения в технических средствах для выполнения этих задач, особенно касающиеся автоматизированных дорожных фрез. В этой связи оптимизация конструктивных и технологических характеристик этих машин, используемых для исправления выпоров колеи, становится важной задачей, требующей решения.

На сегодняшний день для ремонта колеи на дорожных покрытиях стали использовать временную технологию фрезерования выпоров. Применение этой техники позволяет добиться необходимого коэффициента сцепления и создать ровную поверхность. Решается задача точного фрезерования выпоров и боковых бугров, расположенных рядом с колеями. Технология фрезерования непосредственно колеи остается без изменений.

Обычно колея заполняется смесью для ямочного ремонта (катионная эмульсия с мелким щебнем, размер фракции 5-10 мм) либо фрезеруется на заданную глубину без требования точности и заполняется асфальтобетонной смесью с последующим уплотнением. Точное фрезерование необходимо для обеспечения ровности и обеспечения безопасности дорожного движения. Погрешность фрезерования не должна превышать 1-3 мм/м.

В процессе фрезерования изменяется взаимное положение оси вращения фрезы относительно шасси дорожной фрезы и соответственно дорожного покрытия, осуществляется вертикальное корректирующее перемещение. Расстояние от линии резания до оси вращения фрезы будем называть уровнем размерной настройки, т.е. в

процессе фрезерования осуществляются корректирующие переменные перемещения для вертикального положения фрезы.

Линия резания лежит на уровне исходной поверхности дорожного покрытия вне колеи [1] для того, чтобы не было риска возникновения дорожно-транспортных происшествий (ДТП) и для соответствия техническим требованиям проекта на ремонт колеиности. Наплыв представляет собой массу асфальтобетонной смеси, выдавленной из места колеи вправо или влево с разными размерно-механическими характеристиками (высота, ширина, плотность, форма, прочность, наличие трещин, выкрашиваний, пористость). Будем считать, что переднее и заднее колеса фрезы едут по ровному участку дороги вне колеи. В новых СДМ применяется компьютерное управление с приводами и рабочими органами. Кроме этого, можно сделать дополнительные контуры управления, независимо от основного компьютера, на базе микроконтроллера или промышленного компьютера. Управление приводом вертикальных перемещений будет осуществляться путем сложения сигналов, поступающих от основного компьютера и от контура компенсации отклонения размеров фрезерования. Фрезу обычно с конструкцией типа Виртген (ФРГ) [6] рекомендуется использовать в свободно-компоновочные зубья фрезы в корпусе крепления для уменьшения диффузионного износа. Свободно вращающийся режущий элемент постоянно сдвигается нагретой точкой контактирования в бок, вне зоны контактирования участок фрезы успевает остыть. Поэтому не происходит молекулярного диффузионного обмена, а обычный механический износ для жесткозакрепленных инструментов значителен.

Используется бесконтактный лазерный датчик, длина базы 250 мм, с погрешностью 0.5 мм типа БОШ, который представляет собой корпус с оптическим глазком приемопередающей системы, также имеется микропроцессор и выход на компьютерную технику. В системе управления задается установка для сигнала, получаемого с датчика, разница с которой этого сигнала дает отклонения размеров фрезерования. Для управления обратной связью применяется корректировка переменных, которая позволяет изменять уровень размерной настройки фрезы. На самом деле предлагается перейти от кинематического замыкания, основанного на силе, к кинематическому замыканию по координатам (то есть перемещениям или изменениям перемещений фрезы), поскольку это даст возможность в полной мере использовать потенциал системы числового программного управления дорожной фрезы.

Такой подход способствует снижению не только текущего среднего отклонения в процессе фрезерования, но и уменьшению разброса (среднеквадратического отклонения, который является корнем из дисперсии).

Решается задача обеспечения только ровности, задача обеспечения коэффициента сцепления не ставится и не обсуждается.

Для традиционных конструкций строительно-дорожных машин (СДМ) характерен отбор мощности от главного двигателя или применения дополнительного двигателя. В ручном управлении обратную связь реализуют через приспособление машиниста к изменяющимся условиям среды. Ранее фактически использовалось кинематическое замыкание по силе (по отбору мощности гидро, пневмодавления или по отбору

мощности через вращательные элементы). Фактически этот способ управления СДМ позволял лишь воспроизвести или уменьшить исходное отклонение обрабатываемой поверхности дорожного покрытия при фрезеровании. Если размеры припуска и его плотность напыла становились больше, то фреза испытывала дополнительные вертикальные нагрузки и дополнительно отклонялась вверх от линии резания, из-за чего образовывались отклонения размеров сфрезерованной поверхности дорожного покрытия, которые приводят к увеличению риска возникновения ДТП. Изменения размера этих напылов могут быть 1-17 см и отличаться на участке ремонта дороги на 5-10 раз. Соответственно, в разы меняется дополнительно вертикальная составляющая сила резания, вызванная изменением размерных механических параметров напыла. Поэтому возникает задача компенсации нежелательных дополнительных вертикальных перемещений фрезы и управления уровня настройки фрезы в реальном времени.

Используется задание цифровой модели поверхности дорожного покрытия. Как исходная информация для определения уровня размерности настройки фрезы, существующие компоновки фрез предполагают работу режущих элементов фрезы в системе координат фрезы, если взаимодействие происходит через фрезу и колеса или, что более прогрессивно, через фрезу и ролики, катящиеся по дорожному покрытию вне колеи. Фактически второй способ позволяет фрезеровать в системе координат дорожного покрытия и без упругих элементов в виде колес. От СДМ идет только отбор мощности. Но это не позволяет компенсировать износ режущих элементов фрезы, ошибки в наладке, температурные деформации. Поэтому сканирующие системы определяют цифровую модель дорожного покрытия вне колеи и производят расчет траектории линий резания. Относительно этой виртуальной линии производятся автоматические или виртуальные наладки вылетов инструментов так, чтобы вершины инструментов лежали на этой расчетной линии. Наладка может быть произведена вручную.

Раньше управление проводилось по мгновенной высоте – среднему значению отклонения фрезерных размеров, а сейчас мы к дополнительно к этому занимаемся уменьшением разброса отклонений фрезерованной поверхности. Впервые применяется точностное управление фрезерования конкретных элементов автомобильной дороги – устранение напылов сбоку от колеи, использован принцип управления дорожной фрезой по обратной связи.

При задании закона управления в системе числового программного управления СДМ необходимо задать или определить в реальном времени исходную информацию по среде.

Для автоматизированных дорожных фрез широко применяются неmechanические кинематические связи [4]. Например, по проводам или радиосигналам. Раньше использовались зубчатые передачи. Как правило, новые виды приводов могут работать с различными видами кинематических замыканий. Например, по скорости, по приращению перемещений, по моменту, по мощности (реализуемой электроэнергии). В работе в качестве основного выбрано управление по приращению перемещений. В неmechanических кинематических связях важен принцип управления. Управление рассматривается по обратной связи и по возмущениям. Выбрано управление по обратной связи, которое заключается в измерении выходного параметра, определении

отклонения фрезерования, умножения на коэффициент подналадки и реализации этого корректирующего переменного приращения через привод вертикального перемещения (корректирующего переменного приращения перемещения) фрезы.

Проведены сравнительные имитационные испытания резания ас-фальтобетонных образцов при упругом и координатном замыкании. При их постановке, реализации и обработке результатов использованы хорошо отработанные и современные методы экспериментальных исследований [2]. Конкретно методика экспериментальных исследований была разработана профессором А.В. Кочетковым [5].

Методология

Экспериментальный стенд реализован на базе вертикально-фрезерного станка в лаборатории металлорежущих станков СГТУ. Путем его переналадки ось вращения режущего инструмента была установлена в горизонтальном положении. В качестве модели фрезерного барабана были выбраны типовые дисковые фрезы диаметром 110 и 230 мм (металлорежущий инструмент). Фотографии разработанного стенда представлены на следующих рисунках 1 и 2.



Рисунок 1. Процесс замера деформаций образца асфальтобетонного покрытия с помощью магнитной измерительной головки

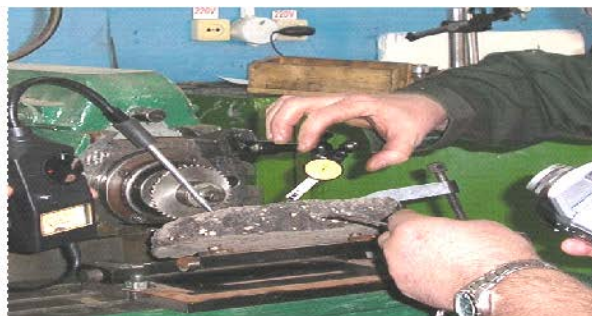


Рисунок 2. Измерение виброакустических колебаний в процессе резания с помощью виброизмерительной системы (США)

На первом рисунке проиллюстрирован процесс измерения деформаций образца асфальтобетонного покрытия с использованием универсальной магнитной измерительной головки. Второй рисунок демонстрирует анализ виброакустических колебаний во время резания, проводимого с помощью виброизмерительной системы, произведенной в США. В ходе исследования было проведено две серии экспериментов с эластичным и жестким соединением. В первом эксперименте между магнитным зажимом и фрезерным столом располагался резиновый лист толщиной 5 мм. Во втором эксперименте магнитное зажимное устройство крепилось непосредственно к столу фрезерного станка без промежуточных деталей. Для эксперимента были выбраны дисковая фреза и образец асфальтобетона с неровной текстурой.

Пример, в реальный момент времени отклонение размера фрезерования составляло 10 мм, умножаем его на коэффициент подналадки, равный - 0,5, получаем 5 мм - величину

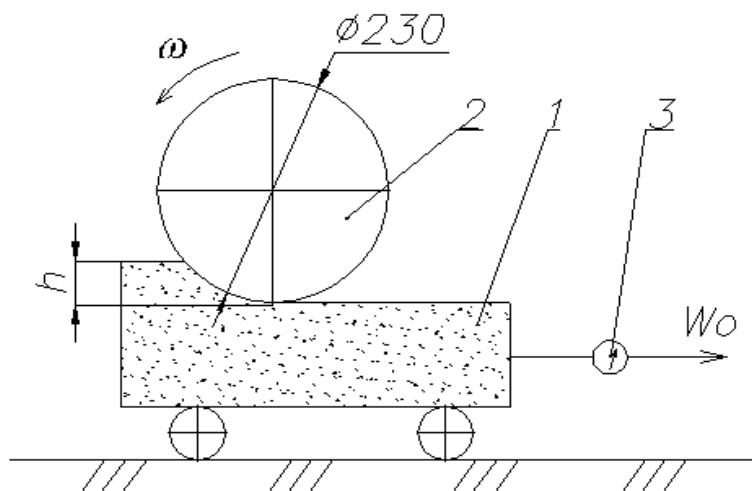
переменного корректирующего приращения и добавляем его к существующему уровню размерной настройки фрезы.

Этим самым компенсируются случайные изменения размерных механических параметров напыла колеи, также компенсируются изменения давления в пневмошинах, компенсируются износ режущих элементов, тепловые температурные деформации рабочего органа и самой СДМ, компенсируются изменения массовых характеристик фрезы. Фактически компенсируется детерменированная (линейная) и периодическая (коррелирующая) составляющая последовательности отклонения фрезерования. Случайной составляющей управлять нельзя [6].

Результаты и Обсуждение

Проведены сравнительные имитационные испытания резания асфаль-тобетонных образцов при упругом и координатном замыкании.

Разработаны методика исследования основных параметров фрезерования. Исследования были направлены на определение зависимости между глубиной фрезерования (h) и скоростью подачи диска (V) на сопротивление подачи (W_0). Эксперименты были проведены на специально изготовленном стенде (рисунок 3).



1 – тележка с образцом асфальтобетона, 2 – алмазный диск, 3 – динамометр
Рисунок 3. Схема экспериментального стенда для определения основных параметров фрезерования

В качестве константы в экспериментах была взята частота вращения диска, которая обеспечивала линейную скорость резания до 50 м/с. При этом скорость подачи алмазного диска изменялась от 1,8 м/мин до 3 м/мин, а глубина фрезерования h – от 10 до 60 мм. Эксперименты выполнялись с трехкратной повторностью в соответствии с разработанным планом факторного эксперимента, представленном в таблице 1 с результатами опытов.

Таблица 1. План и результаты экспериментов

№	План в натуральных переменных		Усилие подачи W_0 , (кН)	Остаточные деформации	
	h, мм	V, м/с		жесткое закрепление	закрепление через упругий элемент
1	10	0,03	3,8	1,8	1,6
2	60	0,03	20,6	2,8	2,4
3	10	0,05	4,2	2,0	1,7
4	60	0,05	22,7	2,1	1,5
5	7,68	0,04	2,6	1,7	2,4
6	77,68	0,04	26,2	2,8	4,6
7	35	0,023	11,2	2,1	3,0
8	35	0,047	13,1	2,2	3,1
9	35	0,04	11,7	2,6	3,1
10-13	35	0,04	12,0	2,7	3,3

Научным результатом является регистрация факта увеличения разброса остаточных деформаций резания (погрешностей) в сравнении жесткого и упругого силовых замыканий.

После обработки результатов эксперимента были получены математические зависимости (усилия подачи W_0 от глубины фрезерования h и скорости подачи V)

$$W_0 = 0,35h + 0,1hV. \quad (1)$$

На основе зависимости (1) было определено среднее значение сопротивления фрезерования q_0 как

$$q_0 = W_0/hB, \quad (2)$$

где B – ширина фрезерования.

Значения q_0 составляет 60-80 кПа и может использоваться для определения мощности привода N

$$N = 0,5q_0 hBDw, \quad (3)$$

где D – диаметр диска, w - угловая скорость вращения диска.

Экспериментальный стенд выполнен на базе горизонтального фрезерного станка 6М82Г. При этом ставилась задача воспроизвести процесс взаимодействия фрезерного инструмента и асфальтобетона, наиболее близко к реальному [7].

В качестве модели барабана дорожной фрезы была выбрана сборная фреза, соотношением диаметра и ширины аналогичная рабочим органам существующих машин.

Фреза собиралась из типового металлорежущего инструмента, с учётом особенностей обработки асфальтобетона, были выбраны диски с большим зубом для воспроизведения эффекта выкрашивания (выламывания), а не резания образца.

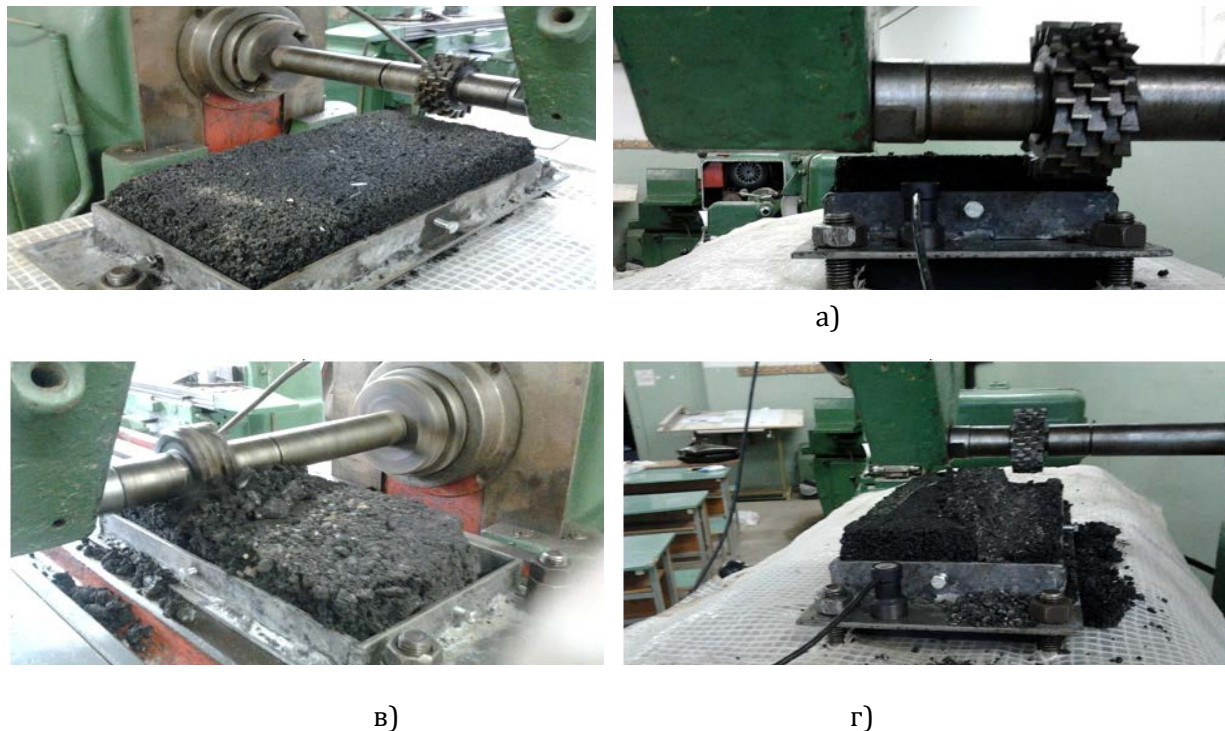


Рисунок 4. Эксперимент по имитационному фрезерованию асфальтобетонных образцов

Были проведены две серии экспериментов с использованием упругого и жесткого замыкания. Фрезерование осуществлялось в направлении, противоположном подаче на обрабатываемую поверхность. Рассматривались два режима:

– первый режим включал использование упругого элемента (резиновое основание толщиной 20 мм) (рисунок 4 а, б), который имитировал фрезерование при силовом замыкании. Образец фиксировался на специ-ально спроектированном экспериментальном столе, установленном на ос-новании через упругий элемент. В этом случае отмечался более высокий разброс значений параметров фрезерования и увеличенная средняя высота профиля отфрезерованной поверхности;

– второй режим заключался в жестком закреплении образца с асфальтобетоном (рисунок 4 в, г), что имитировало координатное замыкание. При этом наблюдалось снижение разброса отклонений размеров фрезерования примерно в 2 раза.

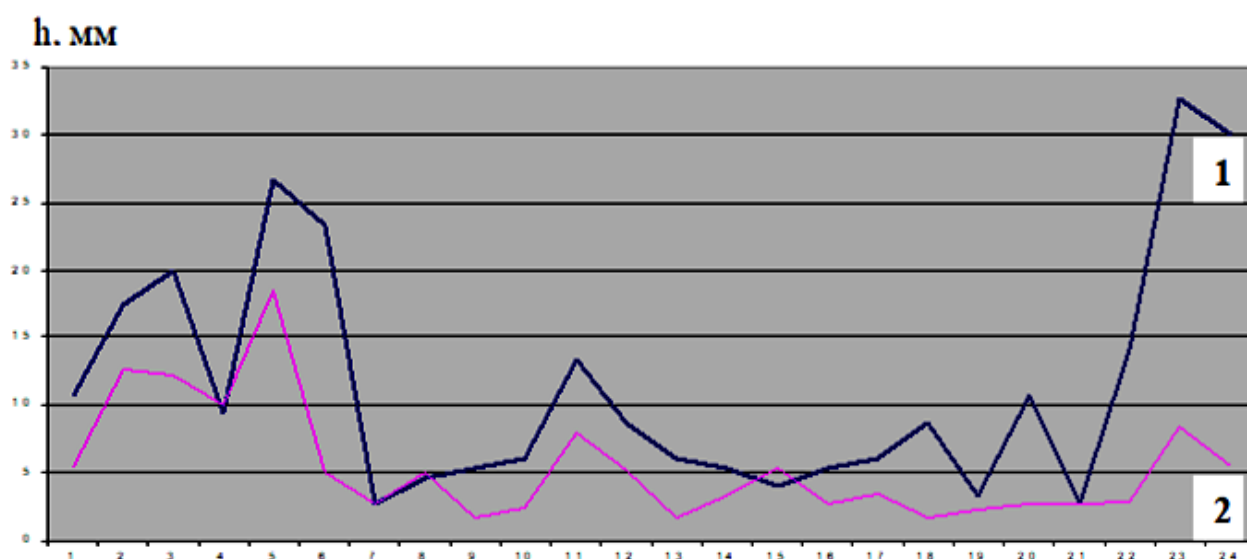
Эти результаты подтверждают эффективность перехода от силового замыкания к координатному замыканию или управлению по перемещению.

Фотографии части экспериментов представлены на рисунке 4.

Вне плана эксперимента было проведено фрезерование асфальтобетонного образца по силовому замыканию с использованием в качестве упругих элементов пружин

переменной жёсткости, имитирующих различную жёсткость системы ФИП. Наблюдение показало, что влияние жёсткости системы ФИП на отклонение профиля фрезерования не линейно и нарастает лавинообразно с уменьшением жёсткости системы (повышением её упругости).

Возможно использование разработанных алгоритмов адаптивных знаковых и пропорциональных подналадок. В результате моделирования по исходной выборке было получено уменьшение среднего значения от фрезерованной поверхности выпоров на 20 % при использовании знаковых пульсирующих подналадок переменным импульсом. Сравнение результатов фрезерования асфальтового покрытия дорожными фрезерами для гибкого (силового) и постоянного (координатного) короткого замыкания (рис.5).



1 – упругое замыкание, 2 – жесткое замыкание

Рисунок 5. Сравнение результатов фрезерования дорожного покрытия с применением дорожных фрез.

Разработана схема технологического фрезерования выпоров колеи дорожного полотна, подтверждена эффективность жесткого координатного замыкания схемы технологического фрезерования по сравнению с упругим (силовым) методом.

Результаты проведенных работ позволяют обеспечить необходимые транспортно-эксплуатационные характеристики, безопасность дорожного движения и сохранность дорожного полотна за счет более эффективной работы, связанной со строительством, ремонтом и обслуживанием автомо-бильных дорог.

Заклучение

На основе системного анализа существующих автоматических до-рожных фрез был выявлен основной фактор, определяющий взаимное расположение рабочего органа

машины и дорожного покрытия в процессе фрезерования поверхностей с переменной высотой, который снижает плос-костность профильной поверхности покрытия.

Предложена концепция дорожной фрезы как автоматизированного дорожного транспортно-технологического манипулятора, осуществляющего коррекцию уровня размерной настройки вертикальными перемещениями рабочего органа, на основании которой разработана новая конструкция автоматизированной дорожной фрезы для ремонта дорожных покрытий с переменной колеиностью с возможностью регулирования рабочего органа по высоте.

Вклад авторов:

Н.С.Камзанов – концепция, методология, корректировка, получение финансирования.

Р.А.Козбагаров – разработка программы, проведение эксперимента, сбор и обработка данных.

Ш.Ахметова – моделирование, интерпретация, обработка результатов.

Б.Д.Жунисбеков, Т.С.Бекетов – визуализация, анализ, получение финансирования.

Список литературы

1. R.A. Kozbagarov, K.A. Zhussupov, E.B. Kaliyev, M.N. Yessengaliyev, A.V. Kochetkov, N.S. Kamzanov. Development of control suspension of attachment of a bulldozer. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. Volume 4, Number 442 (2020), P. 166-174, <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.97>

2. M.S.Kulgildinov, R.A. Kozbagarov, A.U. Dauletkulova, N.S.Kamzanov. Improvement of parameters of road mills for repair works on elimination of ruts on road surfaces. №11/2019 The Scientific Journal of the Modern Education & Research Institute. The Kingdom of Belgium, 2019, P. 31-36.

3. R.A. Kozbagarov, M.V. Taran, K.A Zhussupov, A.E. Kanazhanov, N.S. Kamzanov, A.V. Kochetkov. Increasing the efficiency of motor graders work on the basis of working elements perfection. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. Volume 1, Number 445 (2021), 98 – 105, <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.14>

4. R.A. Kozbagarov, N.S. Kamzanov, Sh.D. Akhmetova, K.A. Zhussupov, Zh. Kh. Dainova. Improving the methods of milling gauge on highways. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. Volume 3, Number 447 (2021), 87-93, <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.14>

5. Кульгильдинов М.С., Камзанов Н.С., Бегимкулова Э.А. Аналитический обзор методов фрезерования колеи дорожного покрытия и ее выпоров// Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева (специальный выпуск). Том 1. Алматы, 2020. С.77-82.

6. Кульгильдинов М.С., Камзанов Н.С., Бегимкулова Э.А. Пути совершенствования технологии и алгоритмов автоматического управления фрезерованием колеи. Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций имени М. Тынышпаева (специальный выпуск). Том 1. Алматы, 2020 г. С. 207-214.

7. Кульгильдинов М.С., Кочетков А.В., Камзанов Н.С., Бегимкулова Э.А. Жол фрезасының жұмыс органының координаттық тұйықталуы кезінде фрезерлеу процесін эксперименттік зерттеу: материалы XLIV междуна-родной научно-практической конференции «Инновационные технологии на транспорте: образование, наука, практика», КазАТК, Алматы, 17.04.2020 г. С. 100-103.

Н.С.Камзанов*¹, Р.А.Козбагаров², Ахметова Ш.Д.¹, Жунисбеков Б.Д.¹, Т.С.Бекетов¹

¹Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,

Алматы қ., Қазақстан Республикасы

²АЛТ М. Тынышпаев атындағы университет, Алматы қ., Қазақстан Республикасы

Айналы жол төсемдерін жөндеуге арналған автоматтандырылған жол кескіші

Аңдатпа. Қазақстан Республикасының автомобиль жолдарында жол түзілуі жол-көлік оқиғалары ықтималдығының өсуіне себеп болатын басты себептердің бірі болып табылады. Калибрлердің шығуы көбінесе айтарлықтай мөлшерге жетеді, жүргізушілерді биіктігі мен еніне қысым жасайды. Автоматтандырылған жол фрезерлерін дамыту жол қозғалысы қауіпсіздігін қамтамасыз ету шаралары шеңберінде фрезерлеу операцияларын тиімді жүргізуге мүмкіндік бере отырып, осы проблемамен күресте жаңа көкжиектер ашты.

Өткен 30 жыл ішінде техника өзгертілді және жаңа техниканы қолдану ұсынылады. Бұл автоматтандырылған "Профиль" жүйесі бар автогрейдерлер, жылдамдық режимі мен діріл бойынша кең мүмкіндігі бар өздігінен жүретін роликтер, қуатты отандық және импорттық фрезерлер, ресайклерлер, автоматтандырылған заманауи асфальт төсегіштер, асфальтбетон қоспасын шамадан тыс жүктегіштер және т. б.

Эксперименттік зерттеулер әдістемесі әзірленді және асфальтбетон үлгілерін күш пен координаталық тұйықталу бойынша фрезерлеудің күрделі процесін модельдеуге мүмкіндік беретін метрологиялық жабдығы бар стенд құрылды. Зерттеулер нәтижесінде асфальтбетон үлгілерін фрезерлеу параметрлерін сипаттайтын регрессия теңдеулері алынды.

Технологиялық жүйенің күштік (серпімді) тұйықталуынан қатты (координаталық) тұйықталуға ауысқан кезде фрезерлеу қателіктері 15%-ға дейін, ал олардың таралуы 30%-ға дейін азаятыны анықталды.

Түйін сөздер: жол фрезасы, асфальтбетон жабыны, шұңқырды жөндеу, кескіш элемент, автомобиль жолы, жұмыс органы, табан.

N.S. Kamzanov*¹, R.A. Kozbagarov², Sh D. Akhmetova¹, B.D.Zhunisbekov¹, T.S.Beketov¹

¹*Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satpayev,
Almaty, Republic of Kazakhstan*

²*ALT M. Tynyshpayev University, Almaty, Republic of Kazakhstan*

Automated road milling cutter for the repair of road surfaces with variable trackage

Abstract. Road formation on the roads of the Republic of Kazakhstan is one of the main reasons for the increase in the likelihood of road accidents. The output of calipers often reaches a significant size, putting drivers under pressure in height and width. The development of automated road milling machines has opened up new horizons in the fight against this problem, making it possible to effectively carry out milling operations within the framework of measures to ensure road safety.

Over the past 30 years, the technique has been modified and the use of new techniques is proposed. These are motor graders with an automated "profile" system, self-propelled rollers with a wide range of speed modes and vibration, powerful domestic and imported milling machines, resiclars, automated modern asphalt pavers, asphalt concrete mixture overloads, etc.

A methodology for experimental research has been developed and a stand with Metrological equipment has been created that allows you to simulate the complex process of milling asphalt concrete samples by force and coordinate circuit. As a result of the research, regression equations were obtained that characterize the parameters of milling asphalt concrete samples.

It was found that when switching from a power (elastic) Circuit of the technological system to a solid (coordinate) circuit, milling errors are reduced by up to 15%, and their distribution is reduced by up to 30%.

Keywords: road milling machine, asphalt concrete coating, pit repair, cutting element, Highway, working body, foot.

References

1. R.A. Kozbagarov, K.A. Zhussupov, E.B. Kaliyev, M.N. Yessengaliyev, A.V. Kochetkov, N.C. Kamzanov. Development of control suspension of attachment of a bulldozer. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. Volume 4, Number 442 (2020), P. 166-174, <https://doi.org/10.32014/2020.2518-170X.97>
2. M.S.Kulgildinov, R.A. Kozbagarov, A.U. Dauletkulova, N.S.Kamzanov. Improvement of parameters of road mills for repair works on elimination of ruts on road surfaces. №11/2019 The Scientific Journal of the Modern Education & Research Institute. The Kingdom of Belgium, 2019, P. 31-36.
3. R.A. Kozbagarov, M.V. Tagap, K.A Zhussupov, A.E. Kanazhanov, N.S. Kamzanov, A.V. Kochetkov. Increasing the efficiency of motor graders work on the basis of working elements perfection. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. Volume 1, Number 445 (2021), 98 – 105, <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.14>
4. R.A. Kozbagarov, N.S. Kamzanov, Sh.D. Akhmetova, K.A. Zhussupov, Zh. Kh. Dainova. Improving the methods of milling gauge on highways. News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences. Volume 3, Number 447 (2021), 87-93, <https://doi.org/10.32014/2021.2518-170X.14>

5. Kulgildinov M. S., Kamzanov N. S., Begimkulova E. A. analytical review of the methods of milling of a column of road clearance and output. Vestnik Kazatk (Special Edition) Volume 1, the Kazakh Academy of transport and Communications named after M. Tynyshpayeva. Almaty, 2020 G. S. 77-82.

6. Kulgildinov M. S., Kamzanov N. S., Begimkulova E. A. put the improvement of technology and algorithms for automatic milling control in kolei. Vestnik Kazatk (Special Edition) Volume 1, the Kazakh Academy of transport and Communications named after M. Tynyshpayeva. Almaty, 2020 G. S. 207-214.

7. Kulgildinov M. S., Kochetkov A.V., Kamzanov N. S., Begimkulova E. A. experimental study of the milling process in the coordinate Circuit of the working body of a road milling machine. Materials of the XLIV international scientific and practical conference "innovative technologies in transport: education, science, practice", Kazatk, Almaty, 17.04.2020 G. S. 100-103.

Сведения об авторах:

Камзанов Н.С. – автор по корреспонденции, PhD, руководитель ОП «Транспортная инженерия», ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, 050060, Алматы, Казахстан.

Козбагаров Р.А. – ассоциированный профессор, АЛТ университет имени М. Тынышпаева, ул. Шевченко, 97, 050026, Алматы, Казахстан.

Ахметова Ш.Д. – ассоциированный профессор, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, 050060, Алматы, Казахстан.

Жунисбеков Б.Д. – докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, 050060, Алматы, Казахстан.

Бекетов Т.С. – докторант, Казахский национальный исследовательский технический университет имени К.И. Сатпаева, ул. Сатпаева, 22, 050060, Алматы, Казахстан.

Kamzanov N.S. – corresponding author, PhD, Head of OP "Transport Engineering", Associate Professor, K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, 22 Satpayev str., 050060, Almaty, Kazakhstan

Kozbagarov R.A. – associate Professor, M. Tynyshpaev ALT University, 97 Shevchenko str., 050026, Almaty, Kazakhstan

Akhmetova, Sh.D. – associate Professor, K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, 22 Satpayev str., 050060, Almaty, Kazakhstan

Zhunisbekov B.D. – doctoral student, K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, 22 Satpayev str., 050060, Almaty, Kazakhstan

Beketov T.S. – doctoral student, K.I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, 22 Satpayev str., 050060, Almaty, Kazakhstan

Камзанов Н.С. – хат-хабар авторы, PhD докторы, «Көліктік инженерия» ББ басшысы, қауымдастырылған профессор, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Сәтбаев көшесі 22, 050060, Алматы, Қазақстан

Козбагаров Р.А. – қауымдастырылған профессор, М. Тынышбаев атындағы АЛТ университеті, Шевченко көшесі 97, 050026, Алматы, Қазақстан

Ахметова Ш.Д. – қауымдастырылған профессор, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Сәтбаев көшесі 22, 050060, Алматы, Қазақстан

Жунисбеков Б.Д. – докторант, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Сәтбаев көшесі 22, 050060, Алматы, Қазақстан

Бекетов Т.С. – докторант, Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті, Сәтбаев көшесі 22, 050060, Алматы, Қазақстан



Copyright: © 2024 by the authors. Submitted for possible open access publication under the terms and conditions of the Creative Commons Attribution (CC BY NC) license (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>).

Бас редакторы: Б.Б. Тогизбаева
Компьютерде беттеген: Д. Нурушева

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.
– 3 (148)/2024 – Астана: ЕҰУ. – 279 б. Шартты б.т. – 34,3. Таралымы – сұраныс бойынша.

Басуға қол қойылды: 29.09.2024 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.