

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

2 (147)/ 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>

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

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

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

№ 2 (147)/2024

МАЗМҰНЫ/ CONTENT/ СОДЕРЖАНИЕ

Мусабаев Т., Есенгабулов С., Эркенова Г., Жаркенов Е., Тимралиева А. <i>Қоршау құрылымдарындағы жылу өткізгіш қосындылары.....</i>	
T. Mussabayev, S.Yessengabulov, G. Zharkenova, Y. Zharkenov, A.Temirgaliyeva <i>Thermal conductive inclusions in building envelopes.....</i>	
Мусабаев Т., Есенгабулов С., Эркенова Г., Жаркенов Е., Тимралиева А. <i>Теплопроводящие включения в ограждающих конструкциях.....</i>	8
А.Е.Жакупова, Д.М.Калманова, Ғ.А. Әнуар <i>Ұшу аппаратының композиттік материалының беріктігін көтеру</i>	
A.Y. Zhakupova, D.M. Kalmanova, F.A. Anuar <i>Increasing the strength of the composite material of the aircraft.....</i>	
А.Е.Жакупова, Д.М.Калманова, Ғ.А. Әнуар <i>Повышение прочности композитного материала летательного аппарата</i>	24
Е.Е.Тулендиев, Г.Н.Байгужина, А.Б.Сагатбекова, А.Б.Оразалина <i>Көліктік-логистикалық орталықтар менеджментінің оңтайлы құрылымының бизнес моделі.....</i>	
Tulendiev E.E., Baiguzhina G.N., Sagatbekova A.B., Orazalina A.B. <i>Business model of optimal structure of management of transport and logistics centers.....</i>	
Е.Е.Тулендиев, Г.Н.Байгужина, А.Б.Сагатбекова, А.Б.Оразалина <i>Бизнес модель оптимальной структуры менеджмента транспортно-логистических центров</i>	37
А.А. Маханова, Е.Н. Хван, А.А. Тойшиева <i>Архитектура музейных комплексов в историческом контексте времени.....</i>	
A.A. Makhanova, Y.N. Khvan, A.A. Toishiyeva <i>Assessment of the higher education system of kazakhstan and issues of its quality management.....</i>	
А.А. Маханова, Е.Н. Хван, А.А. Тойшиева <i>Тарихи уақыт контекстіндегі мұражай кешендерінің сәулеті.....</i>	48
Е.Б. Утепов, А.Ж. Иманов, А.Т. Мухамеджанова, А.К. Қожас, С.Б. Ахажанов <i>Құрылыс алаңдарын виброакустикалық бақылау бойынша қолданыстағы шешімдерді қарастыру.....</i>	
Yelbek Uteпов, Alisher Imanov, Assel Mukhamejanova, Aigul Kozhas, Sungat Akhazhanov <i>Review of existing solutions for vibroacoustic monitoring of construction sites.....</i>	
Е.Б. Утепов, А.Ж. Иманов, А.Т. Мухамеджанова, А.К. Қожас, С.Б. Ахажанов <i>Обзор существующих решений по виброакустическому мониторингу строительных площадок.....</i>	61
А.К. Байдабеков, Э.А. Кемельбекова <i>Кожа Ахмет Ясауи кесенесіндегі геометриялық өрнектер.....</i>	

А.К.Байдәбеков, Е.А. Кемелбекова <i>Geometric patterns in the mausoleum of Khoja Akhmet Yasawi.....</i>	
А.К. Байдабеков, Э.А. Кемельбекова <i>Геометрические узоры в мавзолее Ходжи Ахмета Ясави.....</i>	77
А.Аскербекова, Д.Дюсембинов, Р.Лукпанов, Ж.Шахмов, А.Джексембаева <i>Дәстүрлі көбік бетонының және минералды талшықты көбік бетонының техникалық сипаттамаларын анықтау.....</i>	
A.Askerbekova, D.Dyusembinov, R.Lukpanov, Zh.Shakhmov, A. Jexembayeva <i>Determination of technical characteristics of traditional foam concrete and foam concrete with mineral fiber.....</i>	
А.Аскербекова, Д.Дюсембинов, Р.Лукпанов, Ж.Шахмов, А.Джексембаева <i>Определение технических характеристик традиционного пенобетона и пенобетона с минеральной фиброй.....</i>	87
М. Нургожина, А.Жусупбеков, Д.В. Чанг, Д.Ю.Чунюк <i>Күшейтілмеген franchi (b4350) топырақ арматурасының қадамының статикалық жүктеме сынағы.....</i>	
M. Nurgozhina, A.Zhussupbekov, D.W. Chang, D.Yu.Chunuyk <i>Static load test of unreinforced franchi (B-4350) soil reinforcement pile.....</i>	
М. Нургожина, А.Жусупбеков, Д.В. Чанг, Д.Ю.Чунюк <i>Испытание неармированной грунтоукрепительной сваи franchi (B-4350) на статическую нагрузку.....</i>	98
И.А. Дхомане, Ю.А. Борисевич <i>Реконструкция благоустройства и озеленения жилой застройки 70-80 гг. на Юго-Востоке города Караганды.....</i>	
Dhomanе I.A Borisevich J.A. <i>Reconstruction of landscaping and planting of residential developments of the 70-80s. in the south-east of Karaganda city.....</i>	
И.А. Дхомане, Ю.А. Борисевич <i>Караганды қаласының Оңтүстік-Шығысындағы 70-80 жж. тұрғын үйлерді абаттандыру мен жасылдандыруды қайта құру.....</i>	111
А.С.Мадиярова, А.З.Букаева, Н.Б.Суйеуова, М.М.Чажабәева, Г.С.Билашова <i>Бұйымдарды жобалау кезіндегі сапаны басқару әдістерін талдау.....</i>	
A.S. Madiyarova, A.Z.Bukaeva, N.B.Suieuova, M.M.Chazhabaeva, G.S.Bilashova <i>Analysis of quality management methods in product design</i>	
А.С.Мадиярова, А.З.Букаева, Н.Б.Суйеуова, М.М.Чажабәева, Г.С.Билашова <i>Анализ методов управления качеством при проектировании изделий.....</i>	123
К.Б. Кадыракунов, В.Э.Никулин, А.К. Нурмагамбетова, А.Е.Айжанова, Р.Т. Нурғалиева <i>Қар көшкінін болжау үшін микротолқынды диапазондағы қардың сипаттамаларын ерттеу.....</i>	
K.B. Kadyrakunov, V.E. Nikulin, A.K. Nurmagambetova, A.E.Aizhanova, R.T. Nurgalieva <i>Investigation of snow characteristics in the microwave range for avalanche forecasting.....</i>	
К.Б. Кадыракунов, В.Э.Никулин, А.К. Нурмагамбетова, А.Е.Айжанова, Р.Т. Нурғалиева <i>Исследование характеристик снега в микроволновом диапазоне для прогноза лавин.....</i>	137

О.Б Сейдуллаева, Д.С.Мырзалиев, З.А. Ибрагимова <i>Беттік нығайтылған бөлшектердің тозуы кезінде беріктігін бағалау әдістемесі.....</i>	
O.B. Seidullayeva, D. S.Myrzaliyev, Z.A.Ibragimova <i>Methodology for assessing durability during wear of surface-hardened parts.....</i>	
О.Б Сейдуллаева, Д.С.Мырзалиев, З.А. Ибрагимова <i>Методика оценки долговечности при изнашивании поверхностно упрочненных деталей.....</i>	154
Молнар А. <i>Измерение распределения дозы гамма-излучения с помощью дрона дискретным методом измерения.....</i>	
Molnar A. <i>Measurement of gamma radiation dose distribution by drone using discrete measurement method..</i>	
Молнар А. <i>Дискретті өлшеу әдісімен дрон арқылы гамма-сәулелену дозасының таралуын өлшеу.....</i>	168
А. Шаяхметова, А. Ахметова, А. Абдилдаева, Н. Литвиненко, А. Закирова <i>Себеп-салдар модельдер үшін әсер ету диаграммаларындағы анымалылардың сызықтық шектеулері.....</i>	
A.Shayakhmetova, A. Akhmetova, A. Abdildayeva, B.N. Litvinenko, A. Zakirova <i>Liner constraints on variables in influence diagrams for causal models</i>	
А. Шаяхметова, А. Ахметова, А. Абдилдаева, Н. Литвиненко, А. Закирова <i>Линейные ограничения переменных в диаграммах влияния для причинно-следственных моделей</i>	188
О.М.Жаркевич, А.Е.Мухитова, О.А.Нуржанова, А.В.Бессонов, Г.К.Тайманова <i>Электр қозғалтқыштарының біліктерін қалпына келтіру кезінде бетінің оңтайлы параметрлерін зерттеу</i>	
Zharkevich O.M., Muchitova A.E., Nurzhanova O.A., Bessonov A.V., Taimanova G.K. <i>Study of optimal hardfacing parameters when restoring electric motor shafts</i>	
О.М.Жаркевич, А.Е.Мухитова, О.А.Нуржанова, А.В.Бессонов, Г.К.Тайманова <i>Исследование оптимальных параметров наплавки при восстановлении валов электродвигателей</i>	203
М.К. Куанышев, А.К. Каукаров, Н.С. Сауханов, А.Ж. Мурзагалиев, Ғ.Б. Бақыт <i>Ұқсастық пайдалану шартында екі тактілі қозғалтқышты жасау саласындағы эксперименттік зерттеу</i>	
M.K. Kuanyshev, A.K. Kaukarov, N.S. Sauchanov, A.Zh. Murzagaliev, G.B. Bakyt <i>Experimental research in the field of creation of a two-stroke engine under similar conditions of use</i>	
М.К. Куанышев, А.К. Каукаров, Н.С. Сауханов, А.Ж. Мурзагалиев, Ғ.Б. Бақыт <i>Экспериментальные исследования в области создания двухтактного двигателя в сходственных условиях использования.....</i>	219
Советбаев Р.А., Нугман Е.З., Шаяхметов Е.Я., Kawalek A. <i>AlMgSi1 (6082) алюминий қорытпасын илемдеу жағдайында механикалық және физико-химиялық қасиеттерін зерттеуге дайындау</i>	
Rail Sovetbayev, Yerik Nugman, Yerzhan Shayakhmetov, Anna Kawalek <i>Preparation of AlMgSi1 (6082) aluminum alloy for the study of mechanical and physico-chemical properties in the rolling process</i>	
Советбаев Р.А., Нугман Е.З., Шаяхметов Е.Я., Kawalek A. <i>Подготовка алюминиевого сплава AlMgSi1 (6082) к исследованию механических и физико-химических свойств в условиях прокатки</i>	231



XҒТАР 67.15.55

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-8-23>

Ғылыми мақала

Қоршау құрылымдарындағы жылу өткізгіш қосындылары

Мусабаев Т.^{ID}, Есенгабулов С.^{ID}, Жаркенова Г.*^{ID}, Жаркенов Е.^{ID},
Темиргалиева А.^{ID}

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

(E-mail: uralsk_gulnur88@mail.ru)

Аңдатпа. Ғимараттың жылу шығынын азайту және нормативтік құжаттардың талаптарын қанағаттандыру мақсатында соңғы жылдары құрылыста көп қабатты қоршау құрылымдары соның ішінде құрылымның ішіне жылу оқшаулағыш қабатын орналастыру кеңінен қолданылады. Экономикалық пайымдаулардың әсерінен ғимарат қабаттарының негізгі түрлерінің бірі қабаттар арасында тиімді оқшаулаумен кірпішпен қапталған ұялы бетон блок қалау болды. Қоршау құрылымдарының қолданыстағы түрлерін модернизациялауды және көптеген жаңа құрылымдардың пайда болуын ескере отырып, мұндай құрылымдардың термофизикалық қасиеттерін (негізінен термиялық қорғаныс) дұрыс анықтау туралы мәселе туындады.

Температура біркелкі бөлінеді, өйткені құрылымның беткі қабатына таралатын жылу бөлмеге қараған кезде олардың мәндерін теңестіруге көмектеседі. Алайда, температура өрісінің бұрмалану аймағының ұзындығы артады (кедергі болуына байланысты). Керісінше, температураның төмендеуі (қоршаудың қысқа ұзындығына дейін созылады) құрылымның жылы бетінде орналасқан қосындылар мен қосындылар арқылы тікбұрышты болып, айтарлықтай және көрнекті болады.

Әр түрлі типтегі жылу өткізгіш қосындылар аймағындағы температураның таралуының осындай ерекшеліктері панельдік қабырғаларға арналған тиісті жобалық шешімдері бар ғимараттарды пайдалану тәжірибесімен расталады. Егер панельдердің буындарындағы қабырғалар жылы жағынан жылу өткізгіш қорғаныш және әрлеу қабатымен жабылған болса, қабырғаның ішкі бетіндегі температураның таралуы біркелкі болады; жеткілікті қалың және жылу өткізгіш қабат болмаған кезде буын маңындағы температураның айқын төмендеуі байқалады.

Түйін сөздер: Қоршау құрылымдары, жылу өткізгіш.

Түсті 20.02.2023 Жөнделді 12.05.2024 Мақұлданды 01.04.2024 Онлайн қолжетімді 30.06.2024

* хат-хабар үшін автор

1. Кіріспе

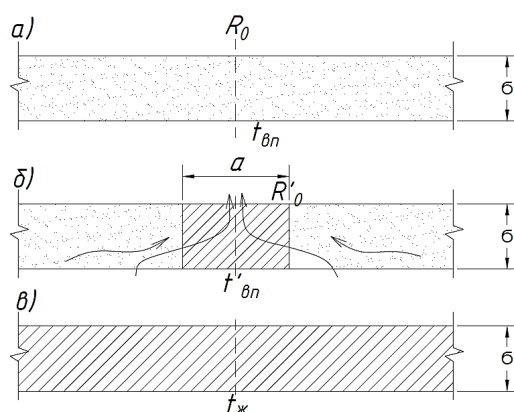
Мақаланың өзектілігі: жергілікті температура бөлмеге қарайтын біркелкі емес қоршау құрылымының бетінде төмендейді, сол себепті материалдың негізгі бөлігіне қарағанда жылу өткізгіштігі салыстырмалы түрде жоғары материалдардан жасалған құрылымдық қосындылары бар конденсацияның пайда болуына әкелуі мүмкін, сондықтан бұл қиындық толықтай зерттелуді қажет етеді[1]. Мұндай жылу өткізгіш қоспалар бетон, темірбетон немесе болат қаңқалардың элементтері болып табылады; темірбетонды қабатты панельдерде – оқшауланбаған рамалар мен контурлы қатайтқыштар[2]; оқшауланған, қуыс және толтырылған тас конструкцияларында - тас қалау қатарларын біріктіру, бос материалдардың немесе оқшаулаудың жекелеген учаскелері арасындағы тығыз материалдың қосындылары, төмен жылу өткізгіш материалдардың тастарын немесе плиталарын төсеу кезінде қолданылатын ауыр ерітінділердің тігістері арқылы жүзеге асады[3].

Жұмыстың жаңалығы мен практикалық маңыздылығы: жылу өткізгіш қосындылары бар құрылымның бір проекциясындағы температураның таралуын Лапласстың дифференциалдық теңдеуінің сандық шешіміне негізделген жоғарыда қысқаша сипатталған тегіс температуралық өрісті құру арқылы орнатуға болатындығында[4]. Алайда, ең қарапайым түрдегі жылу өткізгіш қосындылар үшін, қоршау құрылымының бүкіл қалыңдығын немесе оның жартысын кесіп өткенде, құрылымның жылуды қорғайтын қасиеттерінің жеткіліктілігін бағалауға мүмкіндік беретін шамамен инженерлік есептеулер бар[5]. Осындай инженерлік есептеу әдістерін дамытуға темірбетон қаңқасының элементтерімен қиылысқан қоршау құрылымдарының екі өлшемді температуралық өрістерінің көптеген құрылыстары негіз болды. Осы құрылыстардың нәтижелерін жалпылау келесідей жүргізілді[6].

2. Әдістер

Егер қабырға бетіндегі температура мәндерін қарастыратын болсақ: а) құрылымның жылу өткізгіш қосылымынан алыс қимасы бойымен, $t_{к.б.}$ және б) жылу өткізгіш кірмесі бойымен, $t'^{к.б.}$ в) жылу өткізгіш қоспа материалынан толығымен жасалған, $t_{ж}$ – бұл анық болатыны 1-суретте көрсетілген.

$$t_{к.б.} \quad t'^{к.б.} \quad t_{ж} \quad (1)$$



1 сурет. Қабырғалық құрылымдарды жобалау схемалары: а – жылу өткізбейтін қоспасыз; б – жылу өткізгіш байланысы бар; в – толығымен жылу өткізгіш материалдан жасалған

Температуралық өрістерді кескіндеудің нәтижелері көрсеткендей, $t'^{к.б}$ мән негізінен қосылу енінің қабырға қалыңдығына қатынасына байланысты болады $\frac{a}{\delta}$; бұл арақатынас неғұрлым аз болса, $t'^{к.б}$ соғұрлым жоғары және $t_{к.б}$ мәнге жақын болады. $a=0$ мынадай шекте $t'^{к.б} = t_{к.б}$ мынадай теңдік болады. Керісінше, $\frac{a}{\delta}$ арақатынасы неғұрлым көп болса, $t'^{к.б}$ соғұрлым аз және $t_{ж}$ мәніне жақын болады. $\frac{a}{\delta} \gg 2$ жеткілікті үлкен қатынасы болған кезде $t'^{к.б} = t_{ж}$ мынадай теңдік болады.

Қабырға беті мен кірістіру беті арасындағы температура айырмашылығы $t_{к.б} - t'^{к.б}$ – бұл $t_{к.б} - t_{ж}$ айырмашылықтың белгілі бір бөлігі – , яғни

$$t_{к.б} - t'^{к.б} = \eta (t_{к.б} - t_{ж}) \quad (2)$$

Мұндағы η – жылу өткізгіш қосылысқа жылу ағынының интенсивтілігін сипаттайтын температуралық айырмашылықтардың $\left(\frac{t_{к.б} - t'^{к.б}}{t_{к.б} - t_{к.б}}$ -ге тең) өлшемсіз қатынасын білдіретін коэффициент және оның геометриялық пішініне, қабырғадағы орналасуына және $\frac{a}{\delta}$ қатынасына байланысты.

Жылу өткізгіш қосындылардың ең типтік түрлері үшін коэффициенттің мәні 1-кестеге сәйкес алынады.

Кесте 1. Жылу өткізгіш қосындылардың ең типтік түрлері үшін коэффициенттің мәні

Жылуөткізгіштің формасы мен орналасуы	а δ қатынасына байланысты η мәні								
	0,02	0,02	0,1	0,2	0,4	0,6	0,8	1,0	1,5
Төртбұрыш арқылы	0,12	0,24	0,38	0,55	0,74	0,83	0,87	0,90	0,95

Жылу өткізгіш қабаттар арқылы	0,07	0,15	0,26	0,42	0,62	0,73	0,81	0,85	0,94
Жылы беттен қоршаудың қалыңдығының жартысына дейін тереңдетілген	0,25	0,50	0,96	1,26	1,27	1,21	1,16	1,10	1
Жылы беттен қоршаудың қалыңдығының жартысына дейін тереңдетілген, бірақ алде қайда суық беттен	0,04	0,10	0,17	0,32	0,50	0,62	0,71	0,77	0,89

$t_{к.б.} = t_i - \frac{t_i - t_c}{R_0} R_i$ өрнегінен құрылымдардың бетіндегі температура үшін біз

мынаны аламыз:

$$t_{к.б.} - t_{ж.} = R_i \frac{t_i - t_c}{R'_к} - \frac{t_i - t_c}{R_0} \quad (3)$$

мұнда R_0 және $R'_к$ – құрылымның жылу берілуіне және жылу өткізгішті қосу кедергісі. Алынған өрнекті (2) теңдеуге қойып, түрлендіруден кейін мынаны аламыз:

$$t_{к.б.} - t'_{к.б.} = \eta R_i \frac{(R_0 - R'_к) (t_i - t_c)}{R_0 R'_к} \quad (4)$$

Қоршау құрылымы арқылы өтетін жылу ағыны Q , онда жылу өткізбейтін қосындылар болмаған жағдайда $Q = \frac{t_i - t_c}{R_0}$ өрнекпен, ал $R_i Q$ туынды $t_i - t_{к.б.}$ температура

айырмашылығымен өрнектелуі мүмкін екенін ескере отырып, және осы өрнектерді (4) -ге ауыстыру арқылы төмендегі өрнекті аламыз:

$$t_{к.б.} - t'_{к.б.} = \eta R_i \frac{(R_0 - R'_к) (t_i - t_c)}{R_0 R'_к} \quad (4)$$

Сонымен, өлшемсіз қатынасты белгілеп $\frac{t_{к.б.} - t'_{к.б.}}{t_i - t'_{к.б.}} = \theta$, төмендегі өрнекті аламыз,

$$\frac{R_0 - R'_к}{R'_к} = \frac{t_{к.б.} - t'_{к.б.}}{t_i - t'_{к.б.}} \eta = \frac{\theta}{\eta}$$

$R'_к$ үшін нәтиже қарапайым теңдеумен өрнектеледі:

$$R'_к = \frac{R_0 \eta}{\theta + \eta} \text{ град}^* \text{ м}^{2*} \text{ сағ/ккал} \quad (5)$$

Беткейдің ең қауіпті аймағында конденсация пайда болуына қарсы жобаланған құрылымның сенімділігін сипаттайтын өлшемсіз симплексті θ енгізу есептеу өрнегін жеңілдетуге мүмкіндік береді [7].

(5) теңдеу кірістірудің ішкі бетіндегі рұқсат етілген шекті температура $t'_{к.б.}$ шық нүктесінің температурасына $t_{шық}$ тең болса, жылу өткізгіш қосылатын жерде жобаланатын қоршау құрылымының жылу берілуіне қажетті қарсылықты есептеуге мүмкіндік береді.

(5) формулаға енгізілген өлшемсіз мөлшер θ бөлмедегі ауаның температурасы t_i мен ылғалдылығына ϕ_i сондай-ақ құрылымның оқшаулану дәрежесіне байланысты [7]. Мұндай дәрежені жобада қабылданған жылу беру кедергісінің оның қажетті

мәніне қатынасы ретінде көрсетуге болады (яғни $\frac{R_0}{R_0^n}$). Басқаша айтқанда

$\theta = f(t_i; \phi_i; \frac{R_0}{R_0^n})$. Әр түрлі мақсаттағы үй-жайдайындағы қоршаулардың мәні θ 2-кестеде

көрсетілген.

Кесте 2. Әр түрлі мақсаттағы үй-жайдайындағы қоршаулардың мәні θ

Ғимараттар немесе бөлмелер және олардағы ауа ылғалдылығы	$\frac{R_0}{R_0^n}$ қатынасына байланысты алынған θ мәні						
	1,0	1,1	1,2	1,3	1,5	1,8	2,1

$t_i = 18^\circ$ болған кездегі 55% ылғалдылығы бар тұрғын үйлер	0,40	0,53	0,68	0,82	1,10	1,54	1,9
$t_i = 18^\circ$ болған кездегі 50% ылғалдылығы бар қоғамдық және қызметтік үй- жайлар	0,50	0,64	0,81	0,95	1,24	1,72	2,1
$t_i = 15^\circ$ болған кездегі 60% ылғалдылығы бар өндірістік орындар	0,03	0,13	0,22	0,33	0,54	0,84	1,1
$t_i = 15^\circ$ болған кездегі 45% ылғалдылығы бар өндірістік орындар	0,31	0,44	0,57	0,71	0,97	1,4	1,83
$t_i = 18^\circ$ болған кездегі 75% ылғалдылығы бар өндірістік орындар	0,00	0,10	0,18	0,29	0,50	0,80	1,10

Жылу өткізгіш қосындылардың ішкі бетіндегі температураны есептеу өрнегін (5) формуланы түрлендіру арқылы визуалды және қолдануға ыңғайлы түрге келтіруге болады [8].

$\frac{R_0}{R'_k} = \beta$ көрсету арқылы, төмендегі мәнді аламыз:

$$\beta = \frac{\theta + \eta}{\eta} = \frac{t_{к.б} - t'_{к.б}}{t_i - t_{к.б}} + \eta$$

бұнда $t'_{к.б}$ анықтау арқылы, төмендегі теңдеуді табамыз:

$$t'_{к.б} = t_{к.б} - \eta(\beta - 1)(t_i - t_{к.б}) \quad (6)$$

3. Талқылаулар мен нәтижелер

Осы өрнектен қоршаудың қалыпты оқшауланған қималары бетіндегі температурамен салыстырғанда жылу өткізгіш қосылыстың бетіндегі температураның төмендеуі геометриялық өлшемдерге, қосудың пішіні мен орналасуына байланысты болады (η мәні бойынша сипатталады), сондай-ақ құрылымның оқшаулау дәрежесі бойынша (β және $t_i - t_{к.б}$) мәндер бойынша бағаланады) [9].

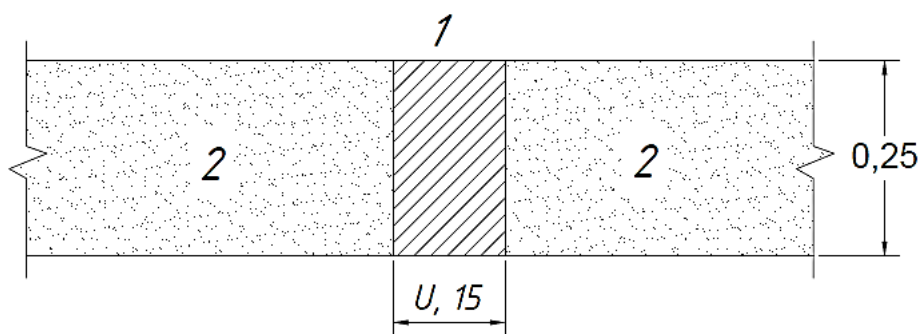
Формула (5) бойынша алынған нәтижелер толығырақ күрделі формуланы (6) қолданған есептеу мәліметтерімен сәйкес келеді [10], бұл жылу өткізгіш қосындылардағы қоршаудың ішкі беті температурасының бөлмедегі ауа t_i температурасына тәуелділігін анықтайды:

$$t'_{к.б} = t_i - \frac{R'_k + \eta(R_0 - R'_k)}{R'_k R_0} R_i(t_i - t_c)$$

Ең кіші мәндер η құрылымның беттеріндегі жылу өткізгіш қабаттармен қосындыларға, әсіресе қоршаудың суық сыртқы бөлігінде орналасқан қосылыстарға сәйкес келетіндіктен, құрылымның бөлмеге қараған бетіндегі температураның төмендеуі осы түрлердің қосындылары болған кезде ең кішкентай болады [11], [12].

Жылу өткізгішті [13,14] қосуға арналған жылу берілуге қажетті кедергі R'_k қосудың формасы мен орналасуына байланысты (бұл бөлменің өлшемімен η және температура-ылғалдылығымен мәнімен θ сипатталады) [15].

(5) өрнектен $\theta=0$ және кез келген мүмкін болатын (0-ден 1-ге дейінгі аралықта) мәндер η , $R'_o = R_o$; демек, ылғалды бөлмелерді қоршайтын және жылу қорғау қасиеттері стандарттардың минималды талаптарымен шектелген құрылымдар үшін кез-келген геометриялық пішін мен өлшемдердің жылу өткізгіш қосындыларының болуына жол берілмейді. Ылғал бөлмелердің қоршауында жылу өткізгіш қосындылардың пайда болу мүмкіндігі жылу өткізгіштігі стандартталған мәндерден едәуір асатын құрылымдар үшін ғана пайда болады [16].



Сурет 2. Темірбетон қаңқасының элементі бар пенобетон тастардан жасалған қабырға құрылысы: 1 – темірбетон қаңқасы; 2 – көбік бетонды қалау

Жабық үй-жайдайындағы ауа ылғалдылығы төмендеген сайын және құрылымдардың оқшаулану дәрежесі жоғарылаған сайын жылу өткізгіш қосындылары бар қоршауларды пайдалану мүмкіндігі артады.

Атап айтқанда, жылу өткізгіштігі төмен, бірақ стандартты өлшемдері бар жеңіл бетон бұйымдарын пайдалану құрғақ өндірістік үй-жайлардың сыртқы қабырғаларының жоғары оқшаулауын қамтамасыз ете алады және ені шектеулі рамалық элементтері бар қоршау құрылымдарын пайдалануға мүмкіндік береді.

Есептеу 1: Өндірістік бөлменің қаңқалық қабырғасын құрғақ режиммен толтыру үшін қалыңдығы 0,25 м көбік бетон блоктары қолданылды [21].

Сыртқы ауаның есептік температурасы -30° , ішкі ауа $+15^{\circ}$. Салыстырмалы ылғалдылық 45% есептелген. Бетон қаңқа элементінің қимасы $0,25 * 0,15$ м.

Соңғысының элементтері қабырғаның бүкіл қалыңдығын қиып өтетін етіп рамамен бір жазықтықта блоктармен толтыруды жүзеге асыруға болатындығын анықтау қажет (2-сурет).

$$\frac{a}{\delta} = \frac{0,15}{0,25} = 0,60; \text{ 1 кесте бойынша } \eta = 0,83.$$

Пенобетонды блоктардан жасалған қабырғаны толтырудың жылу беруіне төзімділік:

$$R_0 = 0,133 + \frac{0,25}{0,22} + 0,05 = 1,31 \text{ град}^* \text{ м}^2 * \text{сағ/ккал}$$

Мұнда 0,22 көбік бетонының жылу өткізгіштік коэффициенті – массасы 800 кг / м³ және құрғақ жұмыс жағдайында.

Бұл жылу бер кедергісі көрсетілген мәннен асып түседі 0,62 град* м²* сағ/ккал

шамамен 2,1 есе (яғни $\frac{R_0}{R_0^H} = \frac{1,31}{0,62} = 2,1$). Бұл шамада мына қатынас $\frac{R_0}{R_0^H}$ θ мәні 1,83 тең

(2 кесте) және жылу өткізгіш қосылым үшін құрылымның жылу беруіне қажетті кедергі:

$$R'_K = \frac{R_0 \eta}{\theta + \eta} = \frac{1,31 \cdot 0,83}{1,83 + 0,83} = 0,41 \text{ град}^* \text{ м}^2 * \text{сағ/ккал}$$

Бетон жақтау элементінің жылу берілуіне нақты кедергі (құрғақ жұмыс жағдайында кірпіш қиыршық таспен бетон ккал / м * сағ * градус):

$$R'_K = 0,133 + \frac{0,25}{0,80} + 0,05 = 0,49 \text{ град}^* \text{ м}^2 * \text{сағ/ккал},$$

шамамен қажеттіге тең.

Осылайша, құрғақ бөлмелердің қабырғаларының жоғары жылу қорғаныш қасиеттерімен, қимасы шектеулі бетон қаңқасының элементтері арқылы әрдайым қабырғаның ішкі бетінде конденсация пайда болмайды.

Темірбетоннан немесе болаттан жасалған жақтаудың жылу өткізгіш элементтері көбірек жылытылатын ғимараттарда мұндай элементтерді қабырғалардың ішкі бетіне орналастыру керек, оларды тіпті құрғақ бөлмелерде құрылымға көміп тастауға болмайды.

Жеңіл қоршау құрылымдарымен, олардың қалыңдығы тиімді оқшаулауды қолдану арқылы жүзеге асырылады, қоршаудың сыртында қоршаудың орналасуы міндетті ереже болып табылады.

Жеңіл бетон тастарынан немесе блоктардан жасалған қабырғалардағы жылу өткізгіш қосылыстар буындарды толтыру үшін қолданылатын ерітіндінің жылу өткізгіштігінің жоғарылығына байланысты пайда болуы мүмкін.

Бөлшектерді ауыр ерітіндімен толтыра отырып, блоктар мен тастар арасындағы интерфизикалық есептеуді өрнек (5) арқылы жүргізуге болады.

Есептеу 2:

Сыртқы ауаның есептік температурасы $t_c = -34^0$ болатын аудандағы тұрғын үйлер үшін ұялы бетон блоктарынан қалыңдығы = 0,25 м қабырғаларды пайдалану жоспарланған. Егер түйіспелердің қалыңдығы $a = 0,015$ м болса, цемент-құмды ерітіндіден қалау жұмыстарын жүргізуге болатындығын анықтау қажет.

$$a\delta = \frac{0,015}{0,25} = 0,06; \text{ 1 кесте бойынша } \eta = 0,27.$$

Қабырғалардың жылу берілуіне кедергісі:

$$R_0 = 0,133 + \frac{0,02}{0,60} + \frac{0,25}{0,25} + \frac{0,02}{0,75} + 0,05 = 1,24 \text{ град}^* \text{ м}^2 \cdot \text{ч} / \text{ккал},$$

мұндағы 0,60; 0,25; 0,75 – ішкі текстураның жылу өткізгіштік коэффициенттері, көлемдік тығыздығы 800 кг/м³ газдалған бетон және сыртқы құрылымы.

Қабырғаның жылу берілуіне нормаланған кедергісі $R_0^H = 1,16 \text{ град}^* \text{ м}^2 \cdot \text{сағ} / \text{ккал}$.

Тігістің бойымен қабырғаның жылу алмасуына кедергісі (цемент-құмды ерітіндісінің λ0,80-ге тең):

$$R'_0 = 0,133 + \frac{0,25}{0,80} + 0,05 = 0,49 \text{ град}^* \text{ м}^2 \cdot \text{сағ} / \text{ккал},$$

Онда 5 формула бойынша:

$$R'_0 = \frac{R_0 \eta}{\theta + \eta} = \frac{1,24 \cdot 0,27}{0,49 + 0,27} = 0,44 \text{ град}^* \text{ м}^2 \cdot \text{сағ} / \text{ккал}.$$

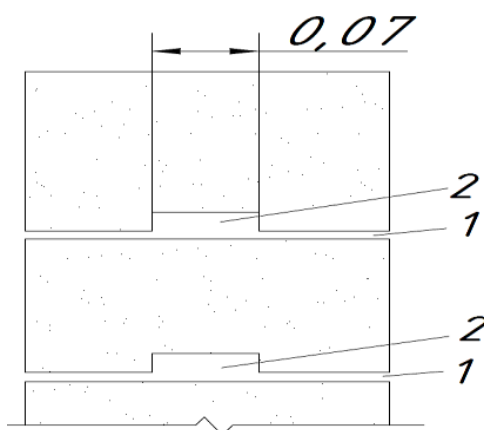
Бұндағы $\theta = 0,49$, $\frac{R_0}{R_0^H} = \frac{1,24}{1,16} = 1,07$ үшін 2 кесте бойынша интерполяциямен анықталған.

Тігіс бойымен жылу беру үшін қажетті және қол жетімді кедергілер арасындағы айырмашылық шамалы (0,49-0,44 = 0,05) және тігістердің ішкі бетінде конденсацияның пайда болуы көбінесе бөлмедегі ауа ылғалдылығының, сондай-ақ цемент тасының тігістегі ылғал дәрежесі және оның жылу өткізгіштік коэффициентінің нақты мәнінің ауытқуына байланысты болады. Цемент-құмды ерітіндінің жылу өткізгіштік коэффициентінің төмендеуімен, мысалы, 0,65 ккал/м²·сағ·град дейін, бұл ұсақ кеуекті цемент тасының құрғақ күйіне сәйкес келеді, тіпті бөлмедегі ауа ылғалдылығының қысқа мерзімді жоғарылауымен конденсация ықтималдығы буындар толығымен жойылады [17].

Қосылыстардағы жеңіл бетон тастарынан және блоктардан жасалған қабырғалардың ішкі бетіндегі ылғалдың конденсациялану ықтималдығы әсіресе ылғалды климаттық аймақтарда жоғары, мұнда буынды толтыратын ерітінді атмосфералық ылғалмен ылғалдандырылуы мүмкін. Бұл жағдайда ішіндегі бос жері бар қосылыстардың орындалуы қабырғаның бүкіл қалыңдығы бойынша ылғалдың капиллярлық қозғалуына жол бермейді, мүмкін мезгіл-мезгіл суланғаннан кейін қатайтылған ерітіндінің тез кебуін қамтамасыз етеді және сонымен бірге жылудың берілуіне тігістегі құрылым кедергісін арттырады.

Қабырғаларды тұрғызу кезіндегі мұндай сындарлы әдіс буындардың қатып қалуының алдын алады, бұл әсіресе ылғалдылығы жоғары қатал климаттық аймақтар үшін өте маңызды.

Тігістердегі ішкі бос жерлер ерітіндіні жағу кезінде тастың бетіне төселген болат немесе ағаш арқалық шаблон арқылы, сондай-ақ өндіріс кезінде алынған төменгі беті профилді жеңіл бетон тастарын қолданған кезде пайда болуы мүмкін (3-сурет) [18].



Сурет 3. Ерітіндінің буындарындағы бос жерлерді алу үшін төменгі беті профильді жеңіл бетон тастары: 1-Ерітінді; 2-ауа кеңістігі

Алдыңғы мысалда қарастырылған газдалған бетон тастарынан жасалған қабырға, егер буындар қуыс болса, бөлме ылғалдылығы 60% -ға көтерілген кезде де термофизикалық талаптарды толық қанағаттандырады [19].

Шынында да, қуыс қосылыстың жылу өткізгіштігі кедергісі

$$R'_k = 0,133 + \frac{0,25 - 0,07}{0,80} + 0,20 + 0,05 = 0,61 \text{ град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{сағ} / \text{ккал},$$

мұндағы 0,20 – ауа саңылауының жылу кедергісі. Қуыс қосылыстың жылу берілуіне кедергісінің бұл мәні ылғалдылық $\phi=60\%$ болған кезде қажетті мәнінен асады

$$R'_k = \frac{0,24 \cdot 0,27}{0,38 + 0,27} = 0,52 \text{ град} \cdot \text{м}^2 \cdot \text{сағ} / \text{ккал}$$

Шындығында, қуыс түйіспенің жылу өткізгіштігі құрғақ күйіне және цемент тасының жылу өткізгіштік коэффициентінің төменгі мәніне байланысты одан да жоғары болады [20].

Есептеу 3. Көбік бетон блоктарынан жасалған қабырғаның ішкі бетіндегі және осы қабырғаны кесіп өтетін бетон қаңқасының бетіндегі температураны, сыртқы ауа температурасы –30 ° болған кездегіні есептеңіз [21].

Пенобетонды блоктардан жасалған қабырғаның жылу өткізгіштік кедергісі $R_0=1,50$ град·м²·сағ/ккал, ал бетонның қаңқа элементінің кедергісі $R'_k=0,49$ град·м²·ч/ккал.

Біз қабырғаның ішкі бетіндегі температураны есептейміз:

$$t_{к.б} = t_i - \frac{t_i - t_c}{R_0} R_i = 15,0 - \frac{15,0 + 30,0}{1,50} 0,133 = 11,00^0$$

$$\beta = \frac{R_0}{R'_k} = \frac{1,50}{0,49} = 3,06; \text{ коэффициент мәні } \eta = 0,83$$

Қабырғаны толтырумен өтетін бетон қаңқасының ішкі бетіндегі температура б формула бойынша анықталады[25]:

$$t'_{к.б} = t_{к.б} - \eta(\beta - 1)(t_i - t_{к.б}) = 11,0 - 0,83(3,06 - 1)(15,0 - 11,0) = 4,20^0$$

4. Қорытынды

1. Жоғарыда келтірілген жылу өткізгіш қосындыларды термофизикалық есептеу әдістері ең қарапайым геометриялық пішіндегі жылу өткізгіш қосындылары бар және бір уақытта бір-бірінен едәуір қашықтықта орналасқан біртектес қоршау құрылымдарына жатады, бұл көрші қосылыстардың әсерін болдырмайды;

2. Жылу беру процестері туралы мақалада қарастырылады;

3. Қоршау құрылымдарының басқа түрлері және күрделі практикада немесе жылу өткізгіш қосылыстардың жақын орналасуы үшін қажет көбінесе жобалау практикасында кездесетін қарапайым есептеу формулалары жоқ.

Авторлардың қосқан үлесі:

Мусабаев Т., Есенгабулов С., Жаркенова Г. – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар, мәліметтер жинау.

Жаркенов Е., Темиргалиева А.– талдау, визуализация, интерпретация, жазу, өңдеу.

Әдебиеттер тізімі:

1. Berardi, U., Naldi, M. Vliyanie temperaturno-zavisimoy teploprovodnosti izolyacionnyh materialov na effektivnye harakteristiki ograzhdayushchih konstrukcij. *Energiya i zdaniya*. 2017. 144(2017). Str. 262–275. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.03.052. URL-adres: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.052>.

2. Arregi B., Garaj-Martines R., Astudil'o Dzh., Garsiya M., Ramos Dzh. K. Eksperimental'naya i chislennaya ocenka teplovyh harakteristik mnogoslownogo komponenta ograzhdayushchej konstrukcii iz biokompozitnyh materialov. *Energiya i zdaniya*. 2020. 214. S. 109846. DOI: 10.1016/j.enbuild.2020.109846. URL-adres: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109846>.

3. Peres-Bella, Dzh.M., Dominges-Ernandes, Dzh., Kano-Sun'en, E., Del' Koz-Dias, Dzh.Dzh., Al'vares Rabanal', F.P. Popravochnyj koefficient dlya approksimacii raschetnoj teploprovodnosti stroitel'nyh materialov. *Primenenie dlya ispanskih fasadov*. *Energiya i zdaniya*. 2015. 88. S. 153–164. DOI: 10.1016/j.enbuild.2014.12.005.

4. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P. Diagrammnyj metod opisaniya processa nestacionarnogo teploobmena. *ZHurnal grazhdanskogo stroitel'stva*. 2015. 60(8). Str. 68–82. DOI: 10.5862/MCE.60.8.

5. Damfeu, J.C., Meukam, P., Jannot, Y., Wati, E. Modelirovanie i eksperimental'noe opredelenie teplovyh svojstv mestnyh vlazhnyh stroitel'nyh materialov. *Energiya i zdaniya*. 2017. 135. S. 109–118. DOI: 10.1016/j.enbuild.2016.11.022. URL-adres: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.022>.

6. Amaral, K., Visente, R., Ferrejra, V.M., Silva, T. Penopoliuretany s mikroinkapsulirovannym materialom s fazovym perekhodom: sravnitel'nyj analiz podhodov k harakteristike teploprovodnosti.

Energiya i zdaniya. 2017. 153. S. 392–402. DOI: 10.1016/j.enbuild.2017.08.019. URL-adres: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.019>.

7. Gorshkov A.S., Rymkevich P.P., Vatin N.I. Modelirovanie nestacionarnykh processov teploobmena v avtoklavnykh gazobetonnykh stenah. ZHurnal grazhdanskogo stroitel'stva. 2014. 52(8). DOI: 10.5862/MCE.52.5.

8. Fantuchchi S., Lorencati A., Kapoccoli A., Perino M. Analiz temperaturnoj zavisimosti teploprovodnosti vakuumnykh izolyacionnykh panelej. Energiya i zdaniya. 2019. 183. S. 64–74. DOI: 10.1016/j.enbuild.2018.10.002. URL-adres: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.002>.

9. Bishara, N., Pernigotto, G., Prada, A., Barat'eri, M., Gasparella, A. Eksperimental'noe opredelenie dinamicheskikh teplovykh harakteristik obolochki zdaniya s uchetom gidrotermicheskogo modelirovaniya – Ocenka metodov i istochnikov neopredelennostej. Energiya i zdaniya. 2021. 236. S. 110798. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.110798. URL-adres: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110798>.

10. Ma A., Caj S., YAn Dzh., CHzhou T. Izmerenie teplofizicheskikh svojstv stroitel'nykh izolyacionnykh materialov s ispol'zovaniem metoda nestacionarnogo ploskogo istochnika tepla. Energiya i zdaniya. 2021. 240. S. 110891. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.110891. URL-adres: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110891>.

11. Li, L., CHzhan, K., Gang, V., Van, Dzh. CHastotnaya teplovaya harakteristika i parametriceskoe issledovanie mnogofunkcional'noj obolochki zdaniya dlya rekuperacii holoda i teploizolyacii: modelirovanie i eksperimental'naya proverka. Energiya i zdaniya. 2021. 253. S. 111541. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111541. URL-adres: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111541>.

12. Bondareva N.S., SHERemet M.A. Harakteristiki teploperedachi v betonnom bloke, sodержashchem material s fazovym perekhodom, dlya obespecheniya teplovogo komforta v zdaniyah. Energiya i zdaniya. 2022. 256. S. 111715. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111715. URL-adres: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111715>.

13. Gonsalves, M., Simojns, N., Serra, K., Ines Flores-Kolen, Rottenbaher, K., Almejda, F.A. Issledovanie kraevogo efekta teplovogo mosta v vakuumnykh izolyacionnykh panyah: stacionarnye i nestacionarnye podhody s ispol'zovaniem chislennykh raschetov. i eksperimental'nye metody. Energiya i zdaniya. 2022. 258. DOI: 10.1016/j.enbuild.2021.111821.

14. Ha, T.T., Feje, V., Vejtens, Dzh., Zibush, K., Pajffer, L., Garsiya, YU., Le Sant, V., Bushi, R., Koenen, A., Monchau, Dzh.P., Ibos, L. Prototip izmereniya dlya bystroj ocenki teplovogo soprotivleniya sten zdaniya v kontroliruemykh i estestvennykh usloviyah okruzhayushchej srede. Energiya i zdaniya. 2022. 268. S. 112166. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112166. URL-adres: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112166>.

15. Nochentini K., Ibragim M., Bivole P.H., Achard P. Mnogomasshtabnyj termicheskij, energeticheskij i ekonomicheskij analiz kompozicionnykh izolyacionnykh materialov iz aerogelya kremnezema v voloknistom neorganicheskom mate. Energiya i zdaniya. 2022. 272. S. 112365. DOI: 10.1016/j.enbuild.2022.112365. URL-adres: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112365>.

16. Zak Dzh., Brozovski Dzh. Ispol'zovanie nestacionarnogo metoda dlya opredeleniya teploprovodnosti stroitel'nykh konstrukcij 1. Opredelenie koefficienta teploprovodnosti metodom goryachej provoloki. 2007.

17. Latif E., Rajdven G.R., Vidzheesekera D.K., Taker S., CHIupala M.A., N'yuport D. Teploprovodnost' stroitel'nykh materialov: obzor ee opredeleniya. SHkola vychislitel'noj tekhniki, 2011. (January). Pp. 15–22. URL: <http://hdl.handle.net/10552/1491>.

18. ТКР EN 1996-2-2009 (02250) ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ ЧАст' 2. Proektnye resheniya , vybor materialov i vypolnenie kamennykh konstrukcij 2009(02250).

19. Kayupov, T., Seylkhanova, D.K. 70 physical and mathematical sciences. *Novye metody rascheta nelinejnyh odnomernyh zadach teploprovodnosti dlya himicheski neodnorodnyh tel.* 2018. Pp. 70–75.
20. Cha, J., Seo, J., Kim, S. Building materials thermal conductivity measurement and correlation with heat flow meter, laser flash analysis and TCi. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry.* 2012. 109(1). Pp. 295–300. DOI:10.1007/s10973-011-1760-x.
21. Samarskij, A.A., Nikolaev, E.S. *Metody resheniya setochnyh uravnenij.* Moskva, Nauka, 1978. 592 p.

**Мусабаев Т., Есенгабулов С., Жаркенова Г.,
Жаркенов Е., Темиргалиева А.**

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

Теплопроводящие включения в ограждающих конструкциях

Аннотация. В целях снижения теплопотерь здания и удовлетворения требований нормативных документов в последние годы в строительстве широко применяются многоэтажные ограждающие конструкции, в том числе размещение внутри конструкции теплоизоляционного слоя. Под влиянием экономических соображений одним из основных типов этажей здания была кладка ячеистого бетонного блока, облицованного кирпичом с эффективной изоляцией между этажами. Учитывая модернизацию существующих типов ограждающих конструкций и появление большого количества новых конструкций, встал вопрос о правильном определении теплофизических свойств (в основном термозащиты) таких конструкций.

Температура распределяется равномерно, потому что тепло, рассеиваемое по поверхности конструкции, помогает сбалансировать их значения при взгляде на комнату. Однако длина области искажения температурного поля увеличивается (из-за наличия помех). Напротив, понижение температуры (которое распространяется на короткую длину ограждения) становится более заметным и заметным благодаря включениям и включениям, расположенным на теплой поверхности конструкции.

Такие особенности распределения температур в зоне теплопроводящих включений различных типов подтверждаются опытом эксплуатации зданий с соответствующими проектными решениями для панельных стен. Если стены в стыках панелей покрыты теплопроводящим защитным и отделочным слоем с теплой стороны, распределение температуры по внутренней поверхности стены будет равномерным; при отсутствии достаточно толстого и теплопроводного слоя наблюдается выраженное понижение температуры вблизи стыка.

Ключевые слова: ограждающие конструкции, теплопроводные включения.

T. Mussabayev, S.Yessengabulov, G. Zharkenova, Y. Zharkenov, A. Temirgaliyeva
L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan

Thermal conductive inclusions in building envelopes

Abstract. In order to reduce the heat loss of a building and meet the requirements of regulations, multi-storey building envelopes have been widely used in construction in recent years, including the placement of a thermal insulation layer inside the structure. Under the influence of economic considerations, one of the main types of building floors was a masonry cellular concrete block faced with brick with effective

insulation between floors. Considering the modernization of existing types of building envelopes and the appearance of a large number of new structures, the question arose about the correct determination of the thermal properties (mainly thermal protection) of such structures.

Temperatures are evenly distributed because the heat dissipated over the surface of the structure helps to balance their values when looking at the room. However, the length of the temperature field distortion region increases (due to the presence of interference). On the contrary, the temperature decrease (which extends over a short length of the enclosure) becomes more prominent and noticeable due to inclusions and inclusions located on the warm surface of the structure.

Such peculiarities of temperature distribution in the zone of heat conducting inclusions of different types are confirmed by the experience of operation of buildings with corresponding design solutions for panel walls. If the walls at the joints of panels are covered with a thermally conductive protective and finishing layer on the warm side, the temperature distribution over the inner surface of the wall will be uniform; if there is not enough thermal conductive inclusions and inclusions located on the warm surface of the wall, the temperature distribution will be uniform.

Key words: enclosing structures, thermal conductive inclusions

References:

1. Berardi, U., Naldi, M. The impact of the temperature dependent thermal conductivity of insulating materials on the effective building envelope performance. *Energy and Buildings*. 2017. 144(2017). Pp. 262–275. DOI:10.1016/j.enbuild.2017.03.052. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.03.052>.
2. Arregi, B., Garay-Martinez, R., Astudillo, J., García, M., Ramos, J.C. Experimental and numerical thermal performance assessment of a multi-layer building envelope component made of biocomposite materials. *Energy and Buildings*. 2020. 214. Pp. 109846. DOI:10.1016/j.enbuild.2020.109846. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2020.109846>.
3. Pérez-Bella, J.M., Domínguez-Hernández, J., Cano-Suñén, E., Del Coz-Díaz, J.J., Álvarez Rabanal, F.P. A correction factor to approximate the design thermal conductivity of building materials. Application to Spanish façades. *Energy and Buildings*. 2015. 88. Pp. 153–164. DOI:10.1016/j.enbuild.2014.12.005.
4. Gorshkov, A.S., Rymkevich, P.P. A diagram method of describing the process of non-stationary heat transfer. *Magazine of Civil Engineering*. 2015. 60(8). Pp. 68–82. DOI:10.5862/MCE.60.8.
5. Damfeu, J.C., Meukam, P., Jannot, Y., Wati, E. Modelling and experimental determination of thermal properties of local wet building materials. *Energy and Buildings*. 2017. 135. Pp. 109–118. DOI:10.1016/j.enbuild.2016.11.022. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2016.11.022>.
6. Amaral, C., Vicente, R., Ferreira, V.M., Silva, T. Polyurethane foams with microencapsulated phase change material: Comparative analysis of thermal conductivity characterization approaches. *Energy and Buildings*. 2017. 153. Pp. 392–402. DOI:10.1016/j.enbuild.2017.08.019. URL: <http://dx.doi.org/10.1016/j.enbuild.2017.08.019>.
7. Gorshkov, A.S., Rymkevich, P.P., Vatin, N.I. Simulation of non-stationary heat transfer processes in autoclaved aerated concrete-walls. *Magazine of Civil Engineering*. 2014. 52(8). DOI:10.5862/MCE.52.5.
8. Fantucci, S., Lorenzati, A., Capozzoli, A., Perino, M. Analysis of the temperature dependence of the thermal conductivity in Vacuum Insulation Panels. *Energy and Buildings*. 2019. 183. Pp. 64–74. DOI:10.1016/j.enbuild.2018.10.002. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2018.10.002>.
9. Bishara, N., Pernigotto, G., Prada, A., Baratieri, M., Gasparella, A. Experimental determination of the building envelope's dynamic thermal characteristics in consideration of hygrothermal modelling

– Assessment of methods and sources of uncertainty. *Energy and Buildings*. 2021. 236. Pp. 110798. DOI:10.1016/j.enbuild.2021.110798. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110798>.

10. Ma, A., Cai, C., Yang, J., Zhou, T. Measuring thermophysical properties of building insulation materials using transient plane heat source method. *Energy and Buildings*. 2021. 240. Pp. 110891. DOI:10.1016/j.enbuild.2021.110891. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.110891>.

11. Li, L., Zhang, C., Gang, W., Wang, J. Frequency thermal characteristic and parametric study of multi-functional building envelope for coolth recovery and thermal insulation: Modelling and experimental validation. *Energy and Buildings*. 2021. 253. Pp. 111541. DOI:10.1016/j.enbuild.2021.111541. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111541>.

12. Bondareva, N.S., Sheremet, M.A. Heat transfer performance in a concrete block containing a phase change material for thermal comfort in buildings. *Energy and Buildings*. 2022. 256. Pp. 111715. DOI:10.1016/j.enbuild.2021.111715. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2021.111715>.

13. Gonçalves, M., Simões, N., Serra, C., Inês Flores-Colen, Rottenbacher, K., Almeida, F.A. Study of the edge thermal bridging effect in vacuum insulation panels: Steady and unsteady-state approaches using numerical and experimental methods. *Energy and Buildings*. 2022. 258. DOI:10.1016/j.enbuild.2021.111821.

14. Ha, T.T., Feuillet, V., Waeytens, J., Zibouche, K., Peiffer, L., Garcia, Y., Le Sant, V., Bouchie, R., Koenen, A., Monchau, J.P., Ibos, L. Measurement prototype for fast estimation of building wall thermal resistance under controlled and natural environmental conditions. *Energy and Buildings*. 2022. 268. Pp. 112166. DOI:10.1016/j.enbuild.2022.112166. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112166>.

15. Nocentini, K., Ibrahim, M., Biwole, P.H., Achard, P. Multi-scale thermal, energetic and economic analysis of composite insulating materials made of silica aerogel in a fibrous inorganic mat. *Energy and Buildings*. 2022. 272. Pp. 112365. DOI:10.1016/j.enbuild.2022.112365. URL: <https://doi.org/10.1016/j.enbuild.2022.112365>.

16. Zach, J., Brozovsky, J. Using of non-stationary method for determination of thermal conductivity in a building structure 1 . Determination of the heat conduction coefficient by the hot wire method. 2007.

17. Latif, E., Rhydwen, G.R., Wijeyesekera, D.C., Tucker, S., Ciupala, M.A., Newport, D. Thermal conductivity of building materials: an overview of its determination. *The School of Computing, Information Technology and Engineering, 6th Annual Conference 2011*. 2011. (January). Pp. 15–22. URL: <http://hdl.handle.net/10552/1491>.

18. ТКП EN 1996-2-2009 (02250) ПРОЕКТИРОВАНИЕ КАМЕННЫХ КОНСТРУКЦИЙ Часть 2. Проектные решения , выбор материалов и выполнение каменных конструкций 2009(02250).

19. Каууров, Т., Seylchanova, D.K. 70 physical and mathematical sciences. Новые методы расчета нелинейных одномерных задач теплопроводности для химически неоднородных тел. 2018. Pp. 70-75.

20. Cha, J., Seo, J., Kim, S. Building materials thermal conductivity measurement and correlation with heat flow meter, laser flash analysis and TCi. *Journal of Thermal Analysis and Calorimetry*. 2012. 109(1). Pp. 295–300. DOI:10.1007/s10973-011-1760-x.

21. Самарский, А.А., Николаев, Е.С. Методы решения сеточных уравнений. Москва, Наука, 1978. 592 p.

Авторлар туралы мәлімет:

Мұсабаев Т.Т. – техника ғылымдарының докторы, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, Қажымұқан көшесі, 13

Есенғабулов С.К. – техника ғылымдарының кандидаты, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қажымұқан көшесі, 13

Жаркенова Г.Е. – докторант, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, Қажымұқан көшесі, 13

Жаркенов Е.Б. – PhD, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, Қажымұқан көшесі, 13

Темірғалиева А.Е. – 3 курс докторанты, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, Қажымұқан көшесі, 13

Мусабаев Т.Т. – доктор технических наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, ул. Кажымукана, 13.

Есенғабулов С.К. – кандидат технических наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, ул. Кажымукана, 13.

Жаркенова Г.Е. – докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, ул. Кажымукана, 13.

Жаркенов Е.Б. – PhD, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, ул. Кажымукана, 13.

Темірғалиева А.Е. – докторант 3 курса, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, ул. Кажымукана, 13.

Musabaev T.T. – Doctor of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National university, Astana, Kazhymukan str. 13

Yessengabulov S.K. – candidate of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National university, Astana, Kazhymukan Str. 13

Zharkenova G.Y. – PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National university, Astana, Kazhymukan Str. 13

Zharkenov Y.B. – PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, Kazhymukan Str. 13

Temirgaliyeva A.Y. – PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, Kazhymukan Str. 13



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/>).



ХҒТАР 55.47.05

Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-24-36>

Ұшу аппаратының композиттік материалының беріктігін көтеру

А.Е. Жакупова^{ORCID}, Д.М. Калманова*^{ORCID}, Ғ.А. Әнуар^{ORCID}

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

(E-mail: dinara_kalmanova@mail.ru)

Аңдатпа. Металлдар 1930 жылдардан бастап авиация жасау үшін таңдаулы материал ретінде кеңінен қолданылады. Аэроғарыш өнеркәсібінде қолданылатын негізгі металдар легирленген және термиялық өңделген алюминийден титанға, магнийге және суперқорытпаларға дейін, соңғысы арнайы қолдануға арналған. Алайда, ұшақтың дизайнындағы өзгерістер, әсіресе қолданылатын материалдарға қатысты, 1970 жылдары композиттік материалдар коммерциялық ұшақтарға енгізілген кезде басталды. Композиттік материалдарды пайдаланудың артуының қозғаушы күштерінің бірі – олардың салыстырмалы түрде жеңіл компоненттер мен аэродинамикалық жобаланған конструкцияларды жасау қабілеті, олар жоғары беріктігі мен өнімділігін сақтай отырып, жанармай шығындарын азайтады. Қауіпсіздік авиациядағы маңызды фактор болып табылады, сондықтан материалдарды таңдауға шешуші әсер етеді. Сондықтан, ұшақ дизайнына арналған материалдарды таңдағанда, салмақ пен беріктік сияқты құрылымдық параметрлерді, сондай-ақ сәтсіздік режимдері мен өнімділік сияқты қауіпсіздік факторларын ескеру қажет. Аэроғарыш өнеркәсібі көрсеткендей, композиттік материалдарға көшу кезінде салыстырмалы түрде жаңа материалдардың сәтсіздіктер мен зақымдануларға қалай әсер ететінін түсіну өте маңызды. Бұл мақалада SolidWorks ортасында композиттік материалдарды модельдеу мүмкіндіктерін көрсету үшін ұшақ қанатының дизайнының мысалы қолданылады. Ұшақтарда қолданылатын композиттік материалдардың механикалық қасиеттері және SolidWorks-те осындай конструкцияларды модельдеу процесі туралы жазылады. Бұл зерттеудің мақсаты – SolidWorks Flow Simulation бағдарламасында ағынды есептеуді модельдеу және беріктігін талдау. Әрбір талданған жүктеме түрі үшін әртүрлі орын ауыстыру, кернеу және қауіпсіздік коэффициенті мәндері алынды.

Түйінді сөздер: Композиттік материал, беріктік, ұшу аппараты, SolidWorks, құрылым.

Түсті 11.06.2023 Жөнделді 11.07.2023 Мақұлданды 21.12.2023 Онлайн қолжетімді 30.06.2024

* хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Заманауи инженердің міндеті - өнімді дұрыс бағамен тез жобалау және жасау. Бұл компьютерлік жүйелердің дамуы мен заманауи композиттік материалдардың кең қол жетімділігінің арқасында мүмкін болды. Полимерлі матрицалық композиттер өндірістің төменқұнымен жақсы механикалық қасиеттеріне байланысты қазіргі заманғы өнеркәсіпте кеңінен қолданылады. Олар негізінен симметриялы және асимметриялық қабатты материалдар түрінде ұсынылған. Үздіксіз талшықтармен нығайтылған полимерлі матрицалық композиттер жеңіл салмақпен, жоғары беріктікпен, жоғары қаттылықпен, коррозияға төзімділікпен және дірілді басатын қасиеттерімен ерекшеленеді. Беріктігі, салмағы мен қаттылығының массаға жоғары қатынасына байланысты олар аэроғарыш өнеркәсібінде жеңіл құрылымдарда (планер компоненттері ретінде) қолданылады [1].

Бүгінгі таңда ұшқышсыз ұшу аппараттарының дизайнын жасауда мамандандырылған компаниялар елеулі бәсекелестерге айналуда. Бұл компьютерлік технологиялар мен электрониканың қарқынды дамуының арқасында мүмкін болды. Заманауи автоматтандырылған дизайн құралдары барлық жерде кездеседі және инженерлік білім беруде, өнеркәсіпте де, университеттерде де қолданылады [2]. САХ құралын пайдалану жаңа өнімдердің бастапқы бағасын айтарлықтай төмендетеді. Қауіпсіздік мақсатында сандық талдау нәтижелерін эксперименттік мәліметтермен салыстыру керек. САХ ортасында сіз 3D модельдерін (CAD) жасай аласыз, беріктік талдау (CAE), инженерлік даму (CAM) сияқты сандық есептеулер сериясын және соңында 2D құжаттары жасалады. Алайда, автоматтандырылған дизайн тек инженерлердің қолындағы құрал болғандықтан, нақты объектілердің виртуалды модельдерін құру үшін тиісті стратегияларды таңдау немесе әзірлеу маңызды [3]. SolidWorks сияқты компьютерлік жүйелер композиттік материалдардың құрылымын модельдеуге және олардың механикалық қасиеттерін талдауға арналған құралдарды ұсынады. Бұл бағдарламалық жасақтама материалдардың қасиеттерін сипаттау арқылы материалдардың жаңа түрлерін анықтауға мүмкіндік береді (изотропты материалдар).

Әдістер

Авиация өнеркәсібінде композициялық материалдардың барлық спектрі қолданылады. Арамидті маталар негізінен фюзеляждың төменгі бөлігін және авиациялық қозғалтқыш тіректерін жасауда пайдаланылады.

Көміртекті маталар авиациялық қозғалтқыштың рульдің беттерін, есіктерін жасау үшін қолданылады.

Шыны талшықтар ауа қысымын қабылдағыштар, қосалқы энергия қондырғысының ауа қабылдағыштары сияқты аз жүктелген құрылымдық бөлшектерді өндіруде қолданылады.

Композиттік материалдарды кеңінен қолданатын орындардың бірі - ұшақтың қанаты. Қанат бойымен орналасқан лонжерондар және күштік элементтері шыны және көміртекті талшық негізінде жасалған. Қаптама шыныдан, көміртекті талшықтан және ішкі көбік толтырғышынан тұратын екі қабатты қабықтан жасалған.

Түбірлік немесе терминалдық бөліктердегі қанат қаптамасының жоғарғы және төменгі қабықшалары және матрицаларда полимерленумен байланыстырушы материалды құю арқылы жасалады, бұл ретте қабықшалар қанаттың алдыңғы және артқы жиектерінде бір-бірімен желім пленкасының көмегімен жалғанған беттерге таратылады. Ішкі қаттылық қабырғалары байланыстырғышты құю арқылы да жасайды. Бұл әдіс сыртқы қанат беттерінің сапасын жақсартады және құрылымның беріктігін қамтамасыз етеді [4,5].

Егер біз үлкен ұзартылған қанаттың серпімді қасиеттерін түзу қаттылық осі бар сәулемен модельдейтін болсақ, онда көтеру коэффициенті:

$$C_y = C_y^\alpha (\alpha + \Delta\alpha) \quad (1)$$

мұнда әуе кемесінің қанаты жағдайында серпімділікке байланысты жеңілдетілген қанат қимасының шабуыл бұрышының өсуі келесідей анықталады [6]:

$$\Delta\alpha = \theta \cos x - \omega' \sin x \quad (2)$$

Мұнда бірінші термин бұралуға, ал екіншісі қанат құрылымының иілуіне жауап береді. Терминнің арқасында жеңілдетілген қиманың шабуыл бұрышы азаяды. Ұшқышсыз ұшу аппараты үшін көбінесе тік қанат қолданылады, онда қанаттың иілісі ағынның шабуыл бұрышын өзгертпейді және бұл шабуыл бұрышының серпімділікке байланысты төмендемеуіне әкеледі, сәйкесінше, деформация кезінде қанат жүктемені алып тастамайды. Бұл мақалада композиттік материалдың анизотропты қасиеттерін жүктеме кезінде қанаттың иілуін және бұралуын ұтымды байланыстыру үшін қолдану ұсынылады, бұл шабуыл бұрышын азайтуға, қысым центрін қанатқа қарай жылжыту арқылы иілу моментін азайту және құрылымның салмағын азайту мақсатында жүктемені қанат бойымен қайта бөлуге мүмкіндік береді.

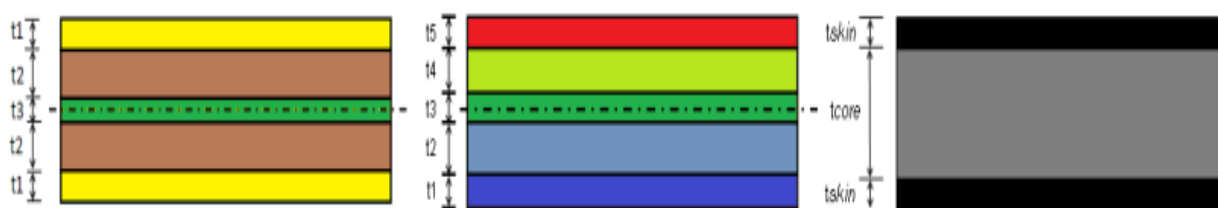
SolidWorks Simulation бағдарламасы композициялық материалдарға негізделген дизайнды модельдеу және талдау құралдарын ұсынады. Бағдарламалық жасақтама ортасы бетті модельдеуге мүмкіндік береді (3D CAD модулі) және құрама құрылымдарды модельдеу үшін жасалған геометрияны қолданады. Тағы бір шешім - алдын-ала қатты күйдегі модельді (3D CAD модулі) құру, содан кейін белгілі бір геометрияға негізделген SolidWorks Simulation модулінде жабын элементтерін құру. Бұл функционалдылық алынған CFD жүктемесіне негізделген кейінгі талдау (күш) кезінде маңызды болады (ағынды модельдеп талдау үшін қатты күйдегі 3D моделі қажет).

Жоғарыда аталған орта 50 түрлі қабатқа дейін күрделі қабаттарды талдауға мүмкіндік береді. SolidWorks қабаттар арасындағы тамаша байланысты ұсынады. Композиттердің ең көп таралған түрлері (сур. 1):

– Симметриялық ламинация – қабат материалының симметриялы орналасуымен, бағытымен, қалыңдығымен, жіптің ортаңғы жазықтықтағы бағытымен анықталады.

– Асимметриялық ламинат медианалық жазықтыққа қатысты симметриясы, бағыты және қасиеттері жоқ қабаттармен сипатталады.

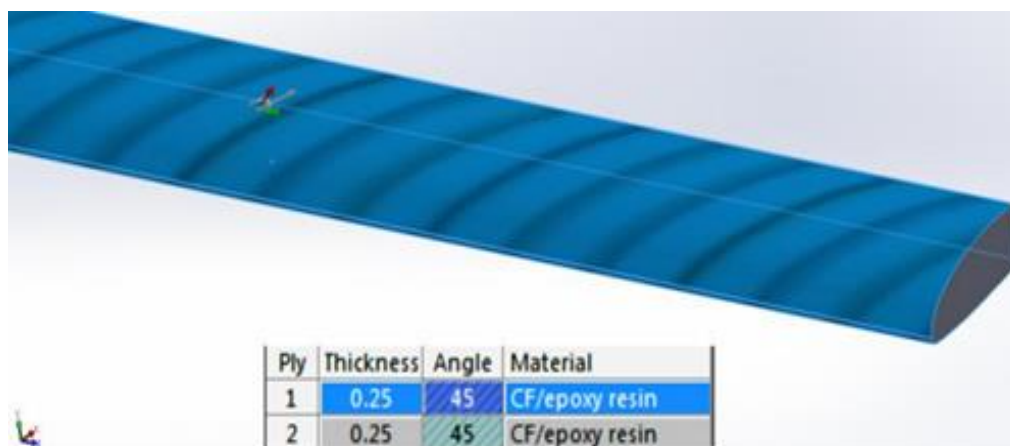
– Көп қабатты композиттер – бұл симметриялы қабаттар, олардың ортаңғы қабаты басқа қабаттарға қарағанда қалыңдығымен және басқа қабаттарға қарағандағы төмен механикалық қасиеттерімен сипатталады. Бұлар иілу кезінде үлкен жүк көтергіштігі қажет болған жағдайда қолайлы.



Сурет 1. Композиттік материалдардың түрлері (оң жақ симметриялы, асимметриялық, сэндвич)

SolidWorks Composite Property Manager көмегімен жобаланған дизайнға қажетті қалыңдығын, бағдарын, қабаттар санын және қабаттардың материалдарын анықтай аламыз. Бұл құралдың графикалық терезесінде ғаламдық координаттар жүйесі, сондай-ақ жеке қабаттардың бағыттары көрсетілген. Белгілі бір композиттік құрылымның орнын оның беттік қабатына қатысты басқаруға болады. Композиттік қасиеттер диспетчері жобаланған қабаттар үйінділерін ортаңғы жазықтықта, үстіңгі, астыңғы және берілген пропорцияларда (орталық бетінен бақылау бетіне дейін өлшенген құрылымның жалпы қалыңдығынан ығысу мәнімен анықталады) орналастыруға мүмкіндік береді. Сурет 2 көміртекті матадан/ эпоксидті материалдан және қалыңдығы 0,25 мм болатын екі қабаттан тұратын симметриялы ламинат беткі дисплейге негізделген материалдың координаттар жүйесіне қатысты 45° бұрылған.

Композиттік құрылымдарды модельдеудегі маңызды қадам – материалдың қасиеттерін анықтау. Ортогональді материалдарды толық сипаттайтын SolidWorks ортасында (талдау кезінде қолданылатын композиттер) серпімділік модулі, Пуассон коэффициенті, ығысу модулі, беріктік дәрежесі ығысу кезіндегі, созылу беріктігі және белгілі бір бағытта қысу беріктігі сияқты параметрлер бар [7].



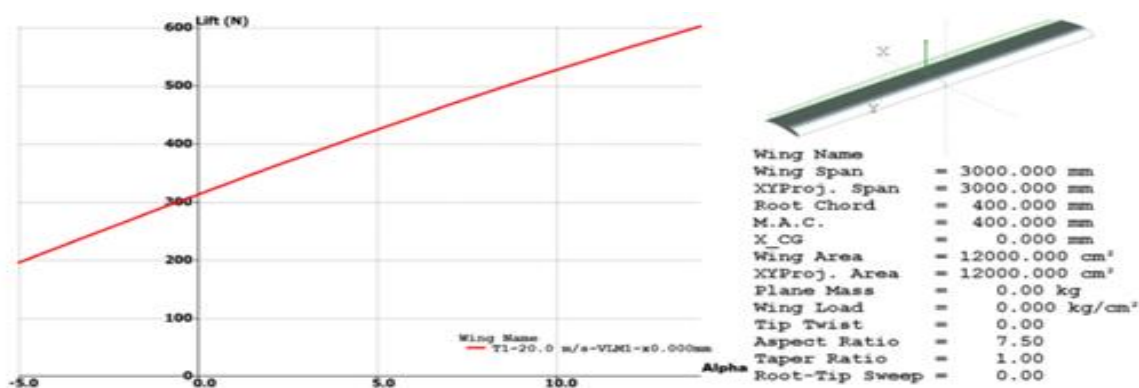
Сурет 2. Композиттің бағыты, қалыңдығы, қабаты, материалы және координаттар жүйесі

Композиттік материалдардың беріктігін талдау кезінде алынған нәтижелер, стандартты беріктікті талдау графиктерінен басқа, келесідей: барлық қабаттардағы максималды кернеу, қабат бағытының бағыты бойынша кернеу және қабат бұрышына көлденең бағыт, әр қабаттың жоғарғы немесе төменгі бетіндегі кернеу, екі түрлі қабат

арасындағы байланыстағы қабат аралық ығысу кернеуі. Айта кету керек, деформациялар мен орын ауыстыру өрістері қарастырылып отырған композиттің қалыңдығы бойынша үздіксіз, ал кернеу өрістері әртүрлі қабаттардағы материалдың әртүрлі бағдары мен қасиеттеріне байланысты үзік-үзік болып табылады.

SolidWorks ламинаттың сыну критерийлерін есептеу үшін қол жетімді үш теорияны қамтиды: Цай-Хилл сыну критерийі, Цай-Бу сыну критерийі және максималды қысым түсіру критерийі. Осы критерийлердің біріне сүйене отырып, жобаланған дизайн үшін қауіпсіздік коэффициентінің (FOS) графиктерін жасай аламыз. Композиттік материалдардың бұзылуы бірнеше кезеңде жүреді. Бірінші қабаттағы немесе қабаттар тобындағы кернеу жеткілікті жоғары болған кезде ол істен шығады. Бұл сыну нүктесі бірінші қабаттың бұзылуы деп аталады, оның сыртында қарастырылып отырған ламинат әлі де жүктемеге төтеп бере алады. Қауіпсіздік мақсатында ламинаттар сынып кетпеу үшін жоғары қысымдарға ұшырамауы қажет [8].

Әуе кемесінің қанатының дизайнын жобалау - бұл әуе кемесінің мақсатын анықтауды, қанатты таңдауды, геометриялық есептеулерді, құрылымды жобалауды, материалды таңдауды, сандық талдауды және техникалық өңдеуді қажет ететін көп сатылы міндет. Ұшақ қанатының конструкцияларын алдын-ала зерттеу жобалық болжамдар мен таңдалған қанаттарға негізделген негізгі геометриялық өлшемдерді есептеуді қамтиды. [9,10]. XFRL5 ортасында жүргізілген алғашқы зерттеудің нәтижелері көрсетілген. Жобаланған геометрия (аэродинамикалық сызығы 400 мм, қанаттарының кеңдігі 3000 мм) ауа жылдамдығы 20 м/с жететін 310 Н көтеру күшімен сипатталады (сур. 3).



Сурет 3. Ұшақ қанатының пішіні

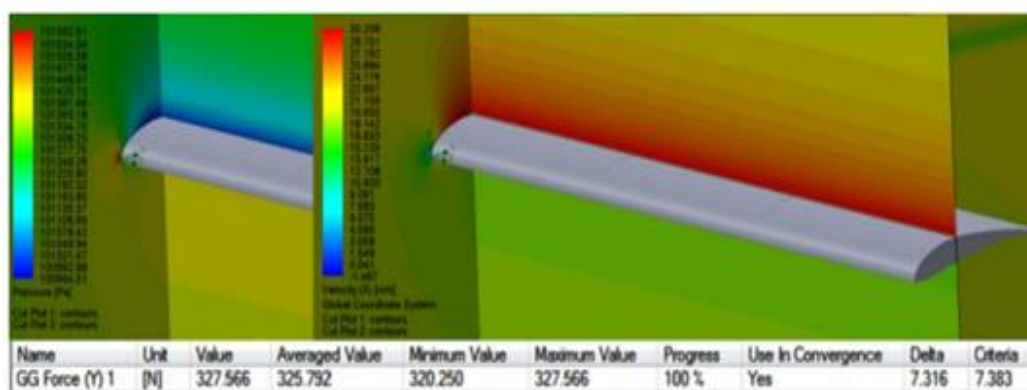
XFRL5 – бұл планердің қанаттары мен жақтауларын сандық талдауға мүмкіндік беретін ақысыз бағдарламалық жасақтама. Модельдеу кезінде бағдарламалық жасақтама сызықтық емес сызықтар әдісін, құйынды тор әдісін (VLM) және 3D панель әдісін қолданады. Бұл бағдарламалық жасақтама Рейнольдс санымен жұмыс істейді [11].

Нәтижелер және талқылау

Ұшақтың қанаттарына әсер ететін жүктеме түрлерін білу жаңа конструкцияны жобалау процесінде өте маңызды. Ұшақ қанатының конструкциялары үшін қолданылатын

көтеру нәтижесінде пайда болатын иілу және бұралу жүктемелері өте маңызды. CFD модельдеу негізінде олардың түрлері мен мәндерін анықтауға болады. 4-ші суретте қарастырылып отырған қанаттың айналуын модельдеу талдауы және нәтижесінде көтергіш күш көрсетілген. CFD модельдеу негізінде жүктеме түрлері және олардың мәндері алынды: қанатқа әсер ететін орташа қысым 275 Па, қанаттың геометриялық орталығында шоғырланған күш, максималды көтеру күші 327 Н, мәндер арасындағы айырмашылық болып табылады.

XFLR 5 (315N) және SW (327N) ортасындағы көтерілуді модельдеу нәтижелері зерттеу сипатына байланысты. Ағынды модельдеу кезінде есептеу уақытын қысқарту үшін біз талдауды жоғары және төмен қысымды ауа массаларының араласуына байланысты қанаттың ұштарында көтергіштің жоғалуын ескермейтін 2D тапсырмасына дейін жеңілдетілген.



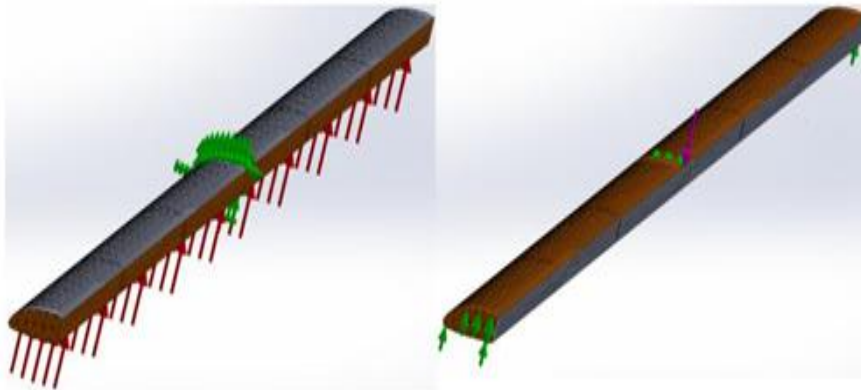
Сурет 4. CFD-қарастырылып отырған қанат пішінін талдау (2D), нәтиже – көтеру күші

Жобаланған қанат геометриясы (үш өлшемді қатты күйдегі модель) ағынды модельдеу кезінде талданды және геометрия түрі одан әрі зерттеу үшін жүктемелердің мәндері мен түрлеріне қол жеткізу үшін беттік модельге ауыстырылды (композициялық дизайнды модельдеу, беріктікті талдау). Қанат құрылымын қарастырған кезде негізгі құрылымдық элемент - аэродинамикалық күштерді қолдану нәтижесінде пайда болатын иілу және бұралу жүктемелерін беру үшін қолданылатын ұшақ қанаты құрылымының бөлігі. Ол жабық жұқа формада орналасқан. Әрі қарай зерттеуге арналған композиттік құрылымның (имитациялық модульдің) дизайны көміртекті талшықты қаттылық шеттерімен толтырылған қанат қорабының беткі моделіне негізделген. Өндірілген қанат дизайны көміртекті талшық/эпоксидті материалдан жасалған, қалыңдығы 0,25 мм екі қабаттан тұратын симметриялы қабатты материалмен ұсынылған, материалдың координаттар жүйесіне қатысты 45° бұрылған (сур. 2).

Жобаланған қанаттың беріктігін талдау (SW Simulation) жүктеменің әртүрлі түрлерінен туындайтын шекаралық жағдайлардың екі жағдайына арналған. Қанатқа әсер ететін орташа қысым (763 Па) қанаттың ортасында орналасқан көтергіш күшпен және концентрация күшімен (315 Н) анықталады, 2,5 г шамадан тыс жүктеме күйін

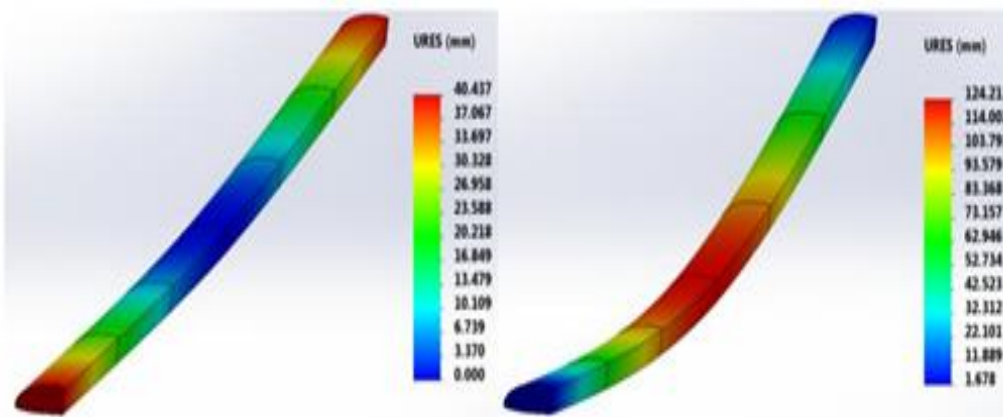
имитациялайды (қауіпсіздік мақсатында) (сур. 5). Талдау бүкіл модель бойынша біркелкі бөлінген соңғы элементтер торын құруды талап етеді (элементтің өлшемі 3,9 мм, төзімділік 0,18). Шекаралық шарттар 5-суретте сипатталған.

Сандық талдау үшін FFE Plus итеративті шешуші қолданылды. Бұл әдіс шешімді есептеу үшін жуықтау әдістерін қолданады және екі дәйекті шешім арасындағы айырмашылық айтарлықтай аз немесе берілген қателік шегінен асып кеткенше процесті қайталайды.



Сурет 5. Қолданылатын жүктемелердің 2 түрі үшін шекаралық шарттар

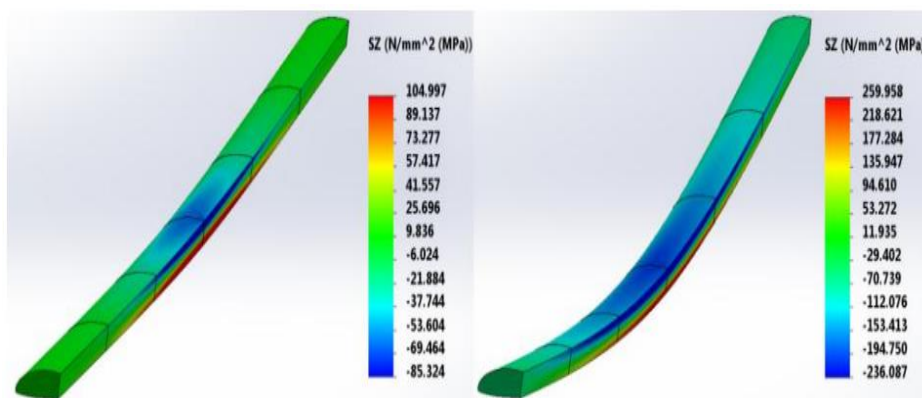
Зерттеу нәтижелерін түсіндіру қозғалыс диаграммасын талдаудан басталады (сур. 6). Қолданылатын күштер мен геометриялық шектеулердің әсерінен талданатын элементтің нәтижесінде орын ауыстыруын көрсетеді (қажетті осьтік орын ауыстыруды тексеруге болады). Статикалық сынақ шарттары ұшу жағдайларын (40 мм) модельдеумен салыстырғанда қанаттың ауытқуының 3 есе (124,2 мм) артуына әкелді. Құрылымның жоғары қаттылығына (аз иілу) қабаттың қалыңдығын арттыру, көбірек қабаттар қосу немесе қабаттардың бұралуын өзгерту арқылы қол жеткізуге болады.



Сурет 6. Көміртекті мата қабатының орын ауыстыруы (сол жақта: концентрацияланған жүктеме, оң жақта: қысу жүктемесі)

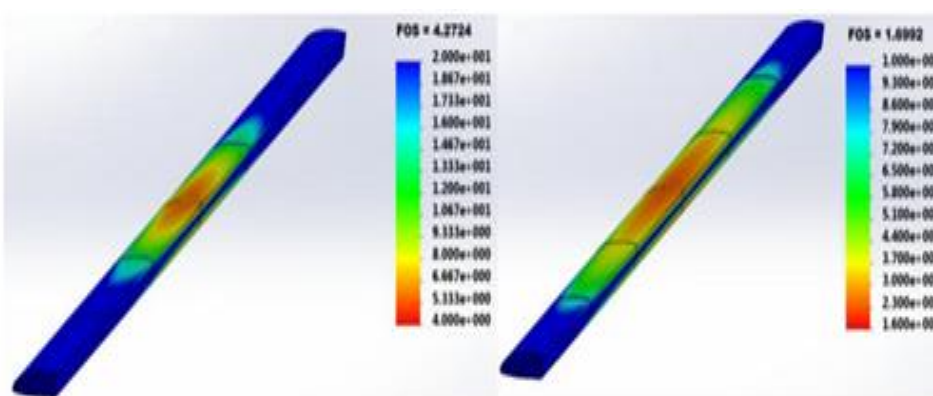
Төмендегі суретте кернеулердің ең жоғары мәндерінің таралуы және олардың зерттелетін құрылымда пайда болатын түрлері көрсетілген. Келесі суретте (сур. 7)

зерттелетін қанаттың көміртекті талшық қабатында пайда болатын созылу және қысу кернеулерінің мәндері мен таралуы көрсетілген. Жеке қабаттар үшін кернеу мәндерін тексеруге болады. Қанаттың ортасында қолданылатын шоғырланған күш статикалық сынақтардың болжамды жағдайларын имитациялады және кернеудің жоғары мәндерін тудырды - 260 МПа созылу кезінде және 236 МПа қысу кезінде. Басып шығару арқылы жүктеуді модельдеу. Созылу кернеуі негізінен құрылымның төменгі жағында, ал қысу кернеуі қанаттың жоғарғы жағында пайда болды.



Сурет. 7. Қарастырылып отырған құрылымның кернеуі созылуы және қысылуы

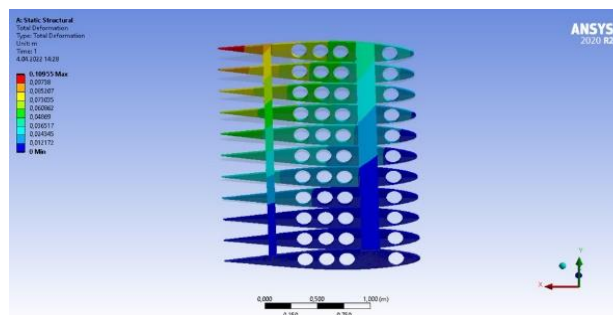
Соңғы бағаланған диаграмма Цай-Вудың істен шығу критерийлеріне сәйкес қанат дизайны бойынша қауіпсіздік коэффициентінің (FOS) таралуын көрсетеді (сурет. 8). Бұл критерий бұзылуды болжау үшін жалпы деформация энергиясын (деформация және кеңею энергиясы) ескереді. Бұл Цай-Хиллдің сыну критерийіне қарағанда консервативті, өйткені ол қысу мен созылу кезінде сыну беріктігін ажыратады. Цай-Ву сәтсіздік критерийі талшықтың істен шығуы және матрицаның істен шығуы сияқты әртүрлі сәтсіздік режимдерін болжай алмайды. Барлық қабаттар үшін минималды FOS мәні 1,6992 статикалық сынақтарды имитациялайтын зерттеуде алынды. 1,0-ден асатын беріктік коэффициенті ламинаттың сынбайтындығын көрсетеді.



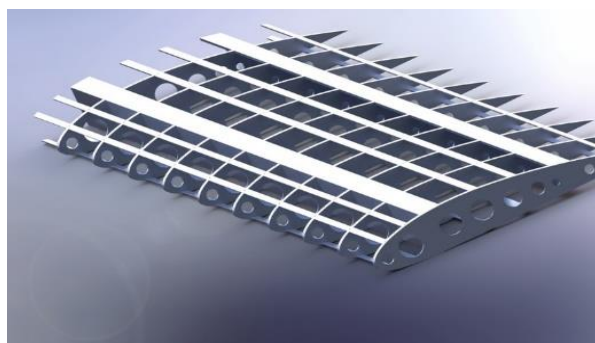
Сурет 8. Екі жүктемеден кейін көміртекті талшық қабатының қауіпсіздік коэффициенті (Цай-Ву стандарты)

Қорытынды

Жүргізілген талдаулар берілген геометрия мен қолданылатын материалдарға байланысты пайда болатын дизайн мен кернеудің әрекетін анықтауға мүмкіндік берді. Жиналған ақпарат дизайнерлерге жобанда көрсетілген талаптарға сәйкес құрылымдар жасауға көмектеседі. Композиттердің беріктігін талдау нәтижесінде алынған нәтижелер барлық қабаттардағы, қабат бағыты бойынша және қабат бұрышы бойымен максималды кернеуді, сондай-ақ әр қабаттың жоғарғы немесе төменгі бөлігіндегі кернеуді одан әрі бағалауға мүмкіндік береді. Қауіпсіздік мақсатында ламинат FPF (бірінші қабаттың бұзылуы) тудыратындай қатты жүктелмеуі керек. Композиттік қабаттың айналуын өзгерту арқылы элементтің бірдей массасында құрылымның үлкен беріктігіне (аз иілу) қол жеткізуге болады. Талданған көміртекті ламинат негізіндегі қанат дизайны Цай-Ву сыну критерийлеріне сәйкес келеді және барлық қабаттар үшін 1,6992 минималды FOS мәндеріне жетеді. Сах құралдарының көмегімен жаңа өнімді шығару шығындары айтарлықтай төмендейді. Қауіпсіздік мақсатында сандық талдау нәтижелерін эксперименттік мәліметтермен салыстыру керек. Ұсынылған тәсілді қолдана отырып, біз көміртекті мата-эпоксидті ламинаттарға негізделген ұшақ қанатының дизайнын жасадық (сур. 9, 10).

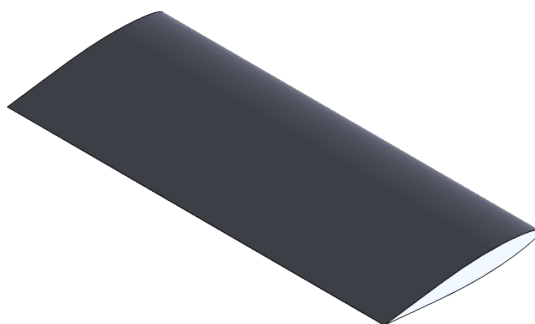


9 а)



9 б)

Сурет 9. SolidWorks модельдеу арқылы ұшақ қанатының дизайнын талдау:
а) дизайнды талдау, б) Қанат қаңқасы



Сурет 10. 3d қанат моделі Air Challenge 2015

Алғыс айту, мүдделер қақтығысы

Авторлар осы мақалада ұсынылған зерттеуге және олардың нәтижелеріне әсер етуі мүмкін қаржылық, жеке, авторлық немесе басқа сипаттағыларды қоса алғанда, осы зерттеуге қатысты мүдделер қақтығысы жоқ деп мәлімдейді. Зерттеу қаржылық қолдаусыз жүргізілді.

Авторлардың қосқан үлесі:

Жакупова А.Е. – идея авторы болып табылады, жұмыстың бағыты мен бастапқы мәліметтерді ұсынды.

Калманова Д.М. – мақаланың концепциясына, методологиясына үлес қосып, жұмысты аяқтады.

Әнуар Ғ.А. – жаңа мәліметтерді жинап, жұмысты редакциялауға үлес қосты.

Әдебиеттер тізімі:

1. Чеунг Д. Композициялық материалдар-ғылым және қолдану. Springer 2010.
2. Лукашевич А. Өндірістік тәжірибеге арналған SolidWorks негізіндегі Сах оқыту. SolidWorks World 2010, Анахайм, АҚШ, б. 23.
3. Данкворт К., Вайдлих Р., Гюнтер Б., Блаурок Дж.Е. Сах-инженерлік білім тек АЖЖ емес. Автоматтандырылған дизайн, 36 Том, 2004, 1439-1450 ББ.
4. Васильев В.В. Композициялық материалдардан жасалған құрылымдардың механикасы. М.: Машина Жасау, 1988. 24-28 б.
5. Кіру режимі. <https://www.energovector.com/energogznaniebystree-vyshe-prochnee.html> / (өтініш берген күні: 03.12.2020).
6. Дмитриев В.Г., Чижов В.М. Ұшу аппараттарының беріктігі мен күш құрылымын жобалау негіздері. — М.: ЦАГИ, 2005. – 416 б.
7. Планшард С., Планшард М.: SolidWorks 2011 Оқу құралы. Шрофф даму корпорациясы, КС миссиясы, 2011 ж.
8. Ломбард М.: SolidWorks Bible 2010, Wiley Publishing, Индианаполис, АҚШ, 2010.
9. Гродзки В., Лукашевич А. Композиттік материалдарды қолдана отырып, ұшқышсыз ұшу аппараттарының (ұшқышсыз ұшу аппараттарының) қанат құрылымын жобалау және өндіру. Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, 46 Том, № 3, 2015, 269-278 ББ.

10. Каракас Х., Коюнқу Э., Иналхан г. МЭС-тің құйрықсыз ұшқышсыз дизайны. Интеллектуалды және роботтық жүйелер журналы, 2013, 69 том, 131 бет.

11. Гродзки В., Лукашевич А. Ұшқышсыз ұшу аппаратын жобалау процесінде САХ құралдары. 1 бөлім аэродинамикалық талдау. Механик, 12 Том, 2013, 95-102 бб.

А.Е. Жакупова, Д.М. Калманова, Ғ.А. Әнуар

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

Повышение прочности композитного материала летательного аппарата

Аннотация. Металлы широко используются в качестве предпочтительного материала для авиастроения с 1930-х годов. Основные металлы, используемые в аэрокосмической промышленности, варьируются от легированного и термически обработанного алюминия до титана, магния и суперсплавов, причем последние предназначены для специального использования. Однако изменения в конструкции самолета, особенно в отношении используемых материалов, начались в 1970-х годах, когда композитные материалы были введены в коммерческие самолеты. Одной из движущих сил увеличения использования композитных материалов является их способность создавать относительно легкие компоненты и аэродинамически спроектированные конструкции, которые снижают затраты на топливо, сохраняя при этом высокую прочность и производительность. Безопасность является важным фактором в авиации и, следовательно, имеет решающее влияние на выбор материалов. Поэтому при выборе материалов для конструкции самолета необходимо учитывать конструктивные параметры, такие, как вес и прочность, а также факторы безопасности, такие, как режимы отказов и производительность. Аэрокосмическая промышленность показывает, что при переходе на композитные материалы очень важно понимать, как относительно новые материалы реагируют на отказы и повреждения. В этой статье используется пример конструкции крыла самолета, чтобы продемонстрировать возможности моделирования композитных материалов в среде SolidWorks. О механических свойствах композитных материалов, используемых в самолетах, и о процессе моделирования таких конструкций пишут в SolidWorks. Целью этого исследования является моделирование вычислений потока и анализ надежности в SolidWorks Flow Simulation. Для каждого анализируемого типа нагрузки были получены различные значения смещения, напряжения и коэффициента безопасности.

Ключевые слова: композитный материал, прочность, летательный аппарат, SolidWorks, конструкция.

А.Ү. Zhakupova, Д.М. Калманова, Ғ.А. Әнуар

L.N. Gumilyov Eurasian national university, Astana, Kazakhstan

Increasing the strength of the composite material of the aircraft

Abstract. Metals have been widely used as the preferred material for aircraft construction since the 1930s. The base metals used in the aerospace industry range from alloyed and heat-treated aluminum to titanium, magnesium and superalloys, the latter being designed for special use. However, changes

in the design of the aircraft, especially with regard to the materials used, began in the 1970s, when composite materials were introduced into commercial aircraft. One of the driving forces behind the increased use of composite materials is their ability to create relatively lightweight components and aerodynamically engineered structures that reduce fuel costs while maintaining high strength and performance. Safety is an important factor in aviation and therefore has a decisive influence on the choice of materials. Therefore, when choosing materials for the aircraft structure, it is necessary to take into account design parameters such as weight and strength, as well as safety factors such as failure modes and performance. The aerospace industry shows that when switching to composite materials, it is very important to understand how relatively new materials react to failures and damage. This article uses an example of an airplane wing design to demonstrate the capabilities of modeling composite materials in a SolidWorks environment. The mechanical properties of composite materials used in aircraft and the process of modeling such structures are written in SolidWorks. The purpose of this study is to simulate flow calculations and reliability analysis in SolidWorks Flow Simulation. For each analyzed load type, different values of displacement, voltage and safety factor were obtained for each analyzed load type.

Keywords: composite material, strength, aircraft, SolidWorks, construction.

References

1. Heung D. Cheung D. Kompozitsionnoye materialovedeniye i primeneniye. [Composite materials-science and application]. (Springer 2010).
2. Lukashovich A. Obucheniye Cax na osnove SolidWorks dlya proizvodstvennoy praktiki. SolidWorks World 2010, Anaheim, AQŞ, b. 23. [SolidWorks based Cax training for manufacturing practice]. (SolidWorks World 2010, Anaheim, USA, p. 23).
3. Dankworth K, Weidlich R, Guenther B, Blaurock JE. Saks-inzhenernoye obrazovaniye eto ne tol'ko SAPR.. [Sax-engineering education is not only CAD]. (Automated Design, Vol. 36, 2004, pp. 1439-1450).
4. Vasiliev V.V. Mekhanika konstruksiy iz kompozitsionnykh materialov. [Mechanics of structures made of composite materials]. (M.: Mashina Zasu, 1988. p. 24-28).
5. Rezhim vkhoda. [Entry mode]. <https://www.energovector.com/energoznaniebystree-vysheprochnee.html> / (date of application: 03.12.2020).
6. Dmitriev V.G., Chizhov V. M. Osnovy proyektirovaniya silovykh i silovykh konstruksiy letatel'nykh apparatov. [Basics of designing strength and power structures of aircraft]. (M.: TsAGI, 2005. — 416 p).
7. Planshard S., Planshard M.: Uchebnik po SolidWorks 2011. [SolidWorks 2011 Tutorial. Shroff Development Corporation]. (KC Mission, 2011).
8. Lombard M.: [SolidWorks Bible 2010]. (Wiley Publishing, Indianapolis, USA, 2010).
9. Grodzki V., Lukashovich A. Proyektirovaniye i izgotovleniye konstruksii kryla bespilotnykh letatel'nykh apparatov (BPLA) s ispol'zovaniyem kompozitsionnykh materialov. . [Design and manufacture of the wing structure of unmanned aerial vehicles (UAVs) using composite materials]. (Materialwissenschaft und Werkstofftechnik, Vol. 46, No. 3, 2015, pp. 269-278).
10. Karakas H., Koyunku E., Inalkhan g. İnalxan g. Dizayn beskhvostogo drona ITU. Zhurnal intellektual'nykh i robotizirovannykh sistem. [Design of the ITU tailless drone. Journal of Intelligent and Robotic Systems]. (2013, Volume 69, Page 131).

11. Grodzki V., Lukashovich A. Instrumenty CAx v protsesse proyektirovaniya BPLA. [CAx tools in the UAV design process]. (Part 1 aerodynamic analysis. Mechanic, Volume 12, 2013, pp. 95-102).

Авторлар туралы мәлімет:

А.Е. Жақупова – техника ғылымдарының кандидаты, «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының доценті, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан, 8-705-356-39-19, mira7906@mail.ru.

Д.М. Калманова – корреспондент авторы, педагогика ғылымдарының кандидаты, «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан, 8-707-399-93-80, dinara_kalmanova@mail.ru.

Ғ.А. Әнуар – техника ғылымдарының магистрі, «Ғарыштық техника және технологиялар» кафедрасының аға оқытушы, Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Сәтпаев көшесі 2, Астана, Қазақстан, 8-775-665-12-62, galym_rma@mail.ru

А.Е.Жақупова – кандидат технических наук, доцент кафедры «Космическая техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, 8-705-356-39-19, mira7906@mail.ru.

Д.М. Калманова – автор для корреспонденции, кандидат педагогических наук, старший преподаватель кафедры «Космическая техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, 8-707-399-93-80, dinara_kalmanova@mail.ru.

Ғ.А. Ануар – магистр технических наук, старший преподаватель кафедры «Космическая техника и технологии», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан, 8-775-665-12-62, galym_rma@mail.ru

A.Y. Zhakupova – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department Space Technique and Technology of L.N. Gumilyov Eurasian national university, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan, 8-705-356-39-19, mira7906@mail.ru.

D.M. Kalmanova – corresponding author, Candidate of Pedagogical Sciences, Senior Lecturer of the Department Space Technique and Technology of L.N. Gumilyov Eurasian national university, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan, 8-707-399-93-80, dinara_kalmanova@mail.ru.

G.A. Anuar – master of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department Space Technique and Technology of L.N. Gumilyov Eurasian national university, 2 Satpayev str., Astana, Kazakhstan, 8-775-665-12-62, galym_rma@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/>).



XҒТАР 82.33.13

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-37-47>

Ғылыми мақала

Көліктік-логистикалық орталықтар менеджментінің оңтайлы құрылымының бизнес моделі

Е.Е. Тулендиев¹, Г.Н. Байгужина², А.Б. Сагатбекова¹, А.Б. Оразалина²

¹С.Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы, 62, Астана қаласы, Қазақстан.

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

(E-mail: gul_8989@mail.ru)

Аңдатпа: Көліктік логистика - бұл логистикалық тізбекте бірыңғай экономикалық нәтиже алуға бағытталған тауарларды тарату үдерісінің қатысушылары болып табылатын көлік кәсіпорындары. Бұл мақалада компания өнімділігінің өсуінің негізгі факторлары және басымдықтарды бөлу жүйесі қарастырылады. Сондай-ақ, негізгі көлік тораптарында, негізінен облыс орталықтарында көліктік-логистикалық орталықтарды салу және жаңғырту жолымен көліктік-логистикалық жүйелерді кеңейту қарастырылуда. Қолданылатын жобалардың орындылығы классикалық модельдеу әдісімен құрылған регрессиялық талдаудың көмегімен дәлелденеді. Көліктік-логистикалық орталықтар менеджментін оңтайлы басқару дәстүрлі басқару әдісімен салыстырғанда бірқатар артықшылықтарға ие, және де негізгі топтардың талаптарын теңдестірілген есепке алу арқылы жүзеге асырылады. Көліктік-логистикалық орталықты басқарудағы менеджмент моделі бес арнайы басқару үдерісіне сүйенеді. Жалпы бұл талдау ықтималдылықтың классикалық негізгі әдістері болып табылады, яғни кәсіпорынның экономикалық көрсеткіштерін толықтай зерттейді. Модель бес арнайы басқару үдерістеріне негізделген. Жеткізу тізбегінің қызметін зерттеу кезінде бірыңғай жоспар шеңберінде шикізатты жеткізу, өнімді дайындау, жеткізу және қайтару үдерістерінің қиылысы қарастырылады, оған сәйкес тізбектің барлық серіктес компанияларының қызметі үйлестіріледі

Компаниялар жеткізу тізбегіндегі өз орнын және жұмыс тиімділігін арттыру мүмкіндіктерін жақсы түсінуі қажет.

Түйін сөздер: жүк тасымалдау, көлік торабы, ықтимал модельдеу, қызмет көрсету, корреляция, жүк ағыны, жабдықтау, тұтынушылық сұраныс, диспетчерлік пункт, шикізат.

Түсті 05.12.2023 Жөнделді 13.12.2023 Мақұлданды 18.03.2024 Онлайн қолжетімді 30.06.2024

* хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Қазақстанда көліктік-логистикалық инфрақұрылымды дамытуға және ұтымды орналастыруына республиканың геосаяси жағдайы үлкен әсер етеді, еліміз Еуразия континентінің орталық бөлігінде, яғни «Батыс – Шығыс» және «Солтүстік – Оңтүстік» бағытында қалыптасып жатқан ұлттық және халықаралық көлік дәліздері бойынша ірі тауарлық-материалдық ағындардың жүру жолында орналасқан.

Қазақстанның көлік желісі темір жол магистральдарымен, автомобиль жолдарымен, су және әуе қатынастарымен, сондай - ақ мұнай және газ құбырларымен ұсынылған. Өңірдің магистральдық көлік желісі типтік сызықтық-ағаш тәрізді сипатқа ие, тығыздығы жеткіліксіз және республиканың бүкіл аумағын қамтымайды [1].

Сонымен қатар еліміздің транзиттік ағымдарды басқару соңғы жылдары жақсы нәтиже көрсетуде.

Тапсырыс берушілерге қызмет көрсетудің тиімділігі, көліктің әртүрлі түрлерінің, сондай-ақ республикадағы көптеген тасымалдаушылардың, операторлардың және экспедиторлық компаниялардың жұмысын жедел басқару және үйлестіру өңірлік көліктік-логистикалық жүйелерді құрмай мүмкін емес. Олардың негізгі жүйе құраушы элементтері болып халықаралық көліктік-логистикалық орталықтар табылады, жүк өңдеу технологиясы мен сервистік қызмет көрсетуді біріктіру кезінде көліктің бірнеше түрлерінің қатысуымен мультимодальды көлік тораптарында орналастырылады.

Алдын ала бағалау бойынша республиканың көлік желісінің сызбасын; мультимодальды көлік тораптарын, жүк қалыптастыру және жүк сіңіру орталықтарын дамыту мен орналастырылуын; республиканың өңірлерінде өндіріс салаларының даму перспективаларын; тасымалдау мен тауар айналымы көлемдерінің өсуінің қазіргі жай-күйін және болжамдық бағалауларын; сондай-ақ көліктік-экономикалық байланыстардың негізгі бағыттарын; ұлттық және халықаралық көлік дәліздерінің қазіргі және перспективалық трассаларын негізге ала отырып, Қазақстан аумағында 10-нан астам мультимодальды көліктік-логистикалық орталықтарды (бұдан әрі - КЛО) құру қажеттілігі туындайды.

Көлік-логистика орталығының құрылысы бойынша ірі жобаның бірінші кезеңі Астана қаласында аяқталды, екінші көліктік-логистикалық орталық өткен жылы Шымкент қаласында іске қосылды. Аталмыш Көлік-логистика орталықтар мемлекеттік және жеке бизнес қағидасымен жүзеге асырылды.

Қазақстанның басқа өңірлерінде КЛО қалыптастырудың мақсаттылығын талдау үшін регрессиялық талдауды қолдану ұсынылады.

Әдістері

Бұл талдау ықтималдықты модельдеудің классикалық әдісі болып табылады, ол кәсіпорынның экономикалық көрсеткіштерінің өзара байланысын зерттейді, егер олардың арасындағы тәуелділік қатаң функционалды болмағанда немесе бөгде, кездейсоқ факторлардың әсерінен бұрмаланбаған жағдайда жүзеге асады. Нәтижесінде

екі кездейсоқ белгілер немесе факторлар арасындағы байланыстың тығыздығын іздеу және бағалау жүзеге асырылады, содан кейін зерттелетін параметрлер (регрессиялық талдау) арасындағы тәуелділіктің нақты түрі белгіленеді.

Тұтынушылық сұраныстың өзгеруіне тікелей немесе жанама әсер ететін факторлар ретінде мыналарды атап өтуге болады:

- белгілі бір аймақтың халық санының өсуі;
- туынды көрсеткіштердің өсуі;
- көліктің бірнеше түрінің болуы;
- инвестициялық капитал[2].

Белгілі бір i – облыстың жүктерді тасымалдау көлемін y_i бағалау 2017 жылға арналған облыс бойынша жүктерді тасымалдаудың жалпы көлемінің $y_{обл}$ оның маңыздылығына Z_i пропорционалды үлесі ретінде есептелді:

$$y_i = \frac{Z_i}{\sum_j Z_j} \cdot y_{обл} \quad (1)$$

Маңыздылық Z_i тізімдегі аудандардың көрсеткіштерінің салыстырмалы мәндерінің орташа өлшенген мәні ретінде есептелді:

- халық саны $K_{нас.}$;
- өндірістің болуы (0/1) $K_{произв.}$;
- темір жолдың болуы (0/1) $K_{жд.}$;
- су көлігінің болуы (0/1) $K_{вод.}$;
- Республикалық маңызы бар автомобиль жолдарының болуы $K_{респ.}$

$$Z_i = \alpha_{нас.} K_{нас.i} + \alpha_{произв.} K_{произв.i} + \alpha_{жд.} K_{жд.i} + \alpha_{вод.} K_{вод.i} + \alpha_{респ.} K_{респ.i} \quad (2)$$

Формуланың коэффициенттерін (салмақтарын) сараптамалық бағалау әдісін қолдану арқылы табуға болады.

Алайда, тізімделген аймақ көрсеткіштерінің жиынтық мәндері бойынша тасымалдау көлемінің корреляциялық тәуелділігін қарастырған кезде, бірнеше корреляцияның таңдамалы коэффициенті $R=0,58$ болатындығын ескере отырып, коэффициенттерді регрессия теңдеуін қолдану арқылы табуға болады, аталған корреляциялық қатынас 1-кестеде көрсетілген.

Кесте 1. Көрсеткіштердің маңыздылығын бағалаудағы салмақ

Көрсеткіш	Регрессия коэффициентінің модулі	Салмақ
$K_{нас.}$	34,878	1
$K_{произв.}$	96,355	2,76

$K_{жд.}$	660,006	18,92
$K_{вод.}$	224,074	6,42
$K_{респ.}$	541,192	15,52

Бұл модель цифрлық формаға ие, осыған байланысты біз нәтижелерді бірден қарастырамыз:

1. Батыс Қазақстанда Бейнеу станциясы ауданында теміржол-автомобиль КЛО және Атырауда теміржол-автомобиль КЛО құру үшін алғышарттар бар.

2. Республиканың солтүстігінде Павлодар, Қостанай қалаларында диспетчерлеу пункттерімен жабдықталған теміржол-автомобиль көлігі тораптарының базасында КЛО қалыптастыру ұсынылады. Сонымен қатар аталмыш қалаларда КЛО құрамында міндетті түрде контейнерлік терминалдардың болуын қамтамасыз ету керек.

3. Көкшетау қаласында дәнді дақылдарды қайта өңдеу бойынша жабдықтары бар мамандандырылған қуаттылығы орташа КЛО қарастыру ұсынылады.

4. Орталық Қазақстанда Қарағанды мен Жезқазғанда өнеркәсіп орталықтарына қызмет көрсету үшін қуаты бойынша шағын КЛО құру орынды болып көрінеді.

5. Қазақстанның оңтүстігінде Өзбекстан және Қырғызстан шекараларына жақын орналасқан және халықаралық маңызы бар диспетчерлік орталықтандыру пункттерімен жабдықталған Шымкент (2025 жылға қосымша) және Тараз қаласындағы көлік тораптары теміржол-автомобиль КЛО-ларын орналастыру үшін қолайлы орналасуға ие.

6. Шығыс Қазақстанда Достық станциясында ірі КЛО салумен қатар, Трансқазақстандық теміржол магистралінің құрылысына байланысты Ақтоғайда КЛО құру және дамыту үшін үлкен перспективалар бар. Сондай-ақ, Өскемен мен Семей қалаларында КЛО қалыптастыру ұсынылады.

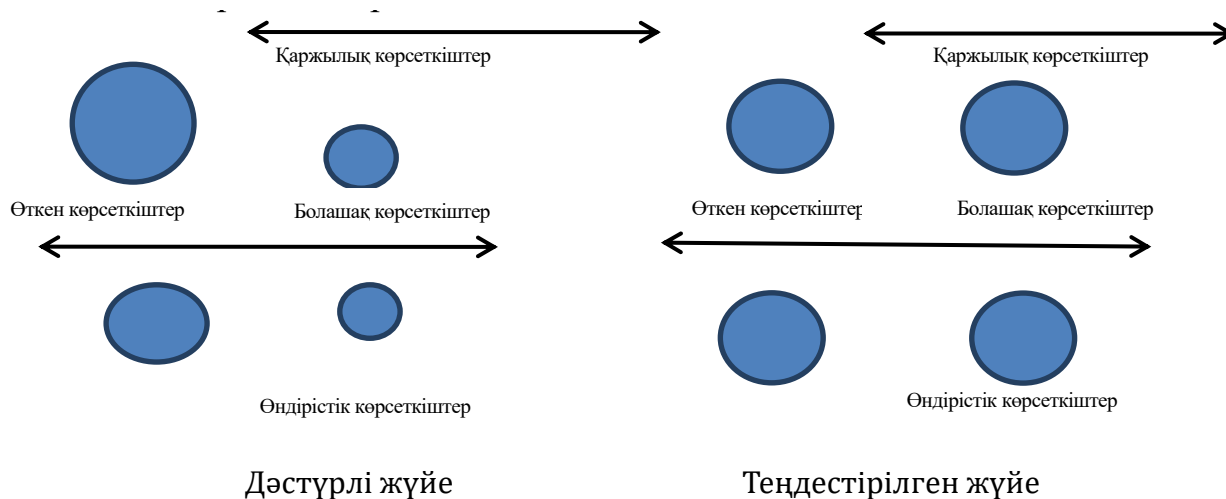
7. Астана қаласында оның ірі көлік торабы және қуатты жүк ағыны 2030 жылға қосымша ең жоғары қуаты бар жаңа КЛО құру үшін барлық алғышарттарға ие. Негізгі көлік жүк ағындары Оңтүстік және Орталық Қазақстанның, Батыс Сібірдің, Орал мен Еділдің экономикалық байланыстарымен анықталады. Астана арқылы өтетін жалпы жүк ағынының 96%-дан астамы транзиттік болып табылады. Жүктерді өңдеуге арналған терминалдық – қойма кешендері бар халықаралық класты әуежай жұмыс істейді [3].

Нәтижелер мен пікірталас

КЛО қалыптастырудың екінші кезеңі – бизнес-үдерістерді басқару.

Оңтайлы басқару менеджментінің бірінші міндеті – негізгі топтардың мүдделерін теңестіру, ал екінші міндет – бизнес тиімділігінің қаржылық және өндірістік критерийлерінің, өткен және болашақ көрсеткіштердің дұрыс үйлесімін табу. Дәстүрлі

шығындарды есепке алу жүйелерінің бірқатар кемшіліктері бар. Олар өткен жылдардағы нарықтық жағдайларға назар аударады. Дәстүрлі және теңдестірілген жүйелер арасындағы айырмашылықты көрсету үшін біз координаталық осьтер мен шеңберлерді қолдандық, олардың мөлшері олар белгілеген көрсеткіштердің басымдылығына сәйкес келеді.



Сурет 1. Дәстүрлі және теңдестірілген басымдықтарды бөлу жүйесі

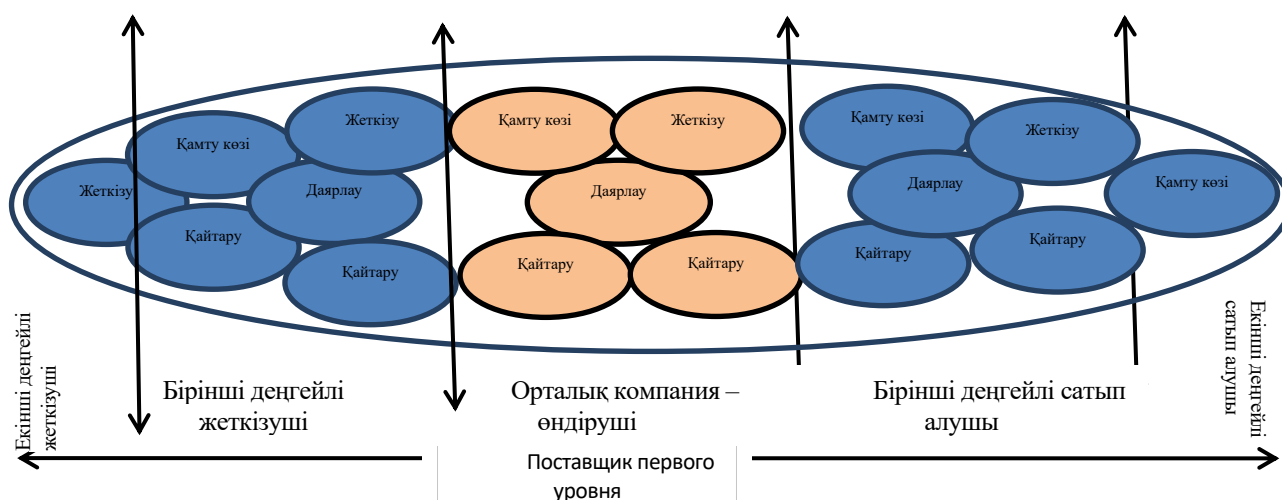
Заманауи жүйені құру кезінде басымдықтарды бөлу барлық факторларды ескеріп, оларды есепке алудың теңдестірілген жүйесін құру қажет. Бұл компания менеджментінің мақсаты.

Теңгерімді көрсеткіштер жүйесі компания қызметінің қаржылық перспективаларын да (өткен көрсеткіштерге сүйене отырып, даму мақсаттарын белгілеу), сондай-ақ өндірістік тиімділікті арттыру тәсілдерін де ескеруі тиіс.

Әрі қарай, орталық өндіруші компания қатысушылардың бірі болып табылатын бизнес - процестерді қарастыруды ұсынылады. Компаниялар жеткізу тізбегіндегі өз орнын және жұмыс тиімділігін арттыру мүмкіндіктерін жақсы түсінуі қажет.

Компанияларға қатысты ақпараттың егжей-тегжейлі талдауын алу үшін әр түрлі деңгейдегі логистикалық кеңес жүйесіне тұрақты негізде интеграциялануы керек. Сондай-ақ, қызмет түрлері бойынша шығындарды есепке алу жүйесінде логистикалық үдерістерді модельдеуде процестердің өзі қызмет түрлері бойынша бөлінеді [4,5].

Модель бес арнайы басқару үдерістеріне негізделген. Жеткізу тізбегінің қызметін зерттеу кезінде бірыңғай жоспар шеңберінде шикізатты жеткізу, өнімді дайындау, жеткізу және қайтару үдерістерінің қиылысы қарастырылады, оған сәйкес тізбектің барлық серіктес компанияларының қызметі үйлестіріледі (2-сурет).



Сурет 2. Бес арнайы басқару үдерісі

2-суретте өндіруші компания ішінде өндірілетін үдерістердің жеткізушілер мен клиенттік ұйымдар ішіндегі процестермен байланысы көрсетілген. Бес арнайы басқару үдерісі – бұл:

- 1) жоспарлау: сұраныс пен ұсынысты жоспарлау міндеті өндірістік қуаттар мен ресурстарды ұзақ мерзімді жоспарлаудағы ауқымды жүйенің бөлігі болып табылады [6];
- 2) шикізатпен жабдықтау: шикізатпен жабдықтау міндеті белгілі бір шарттардан (өнімді жеткізу тендері) өтетін жеткізушілермен ынтымақтастықтың неғұрлым ауқымды жүйесінің бөлігі болып табылады;
- 3) өндіріс: тауарларды өндіру міндеті, мысалы, өндірісті жоспарлауды қамтитын ауқымды өндіріс жүйесінің бөлігі болып табылады. Бұған түпкілікті өнімнің құнын арттыратын кез келген операциялар кіреді [7,8];
- 4) жеткізу: күнделікті тапсырыстарды қабылдау, жеткізу, сақтау, орнату, пайдалануға беру тапсырмалары жеткізуді басқарудың жалпы жүйесінің бөлігі болып табылады, ол сонымен қатар жеткізу ережелерін белгілеуді және жеткізілетін тауарлардың санын бақылауды қамтиды;
- 5) қайтару: ақауларды ауыстыру немесе жою үшін сапасыз тауарларды қайтару, өндіріске жарамсыз материалдарды кәдеге жарату [8,10].

Қорытынды

Қорытындылай келе, дайындық кезеңдері мен өндірістік жоспарлау жүйенің өзінде маңызды екенін атап өткен жөн. Мақсаты кез-келген бизнес құрылымы болып табылады: оңтайлы мәндермен және минималды шығындармен табыс табу. Тиісінше, деректер бойынша табыс тұрақты болуы керек, ал тұрақты табыс тікелей компанияның тиімді менеджментіне байланысты болады.

Жеткізу тізбегінде жүретін үдерістердің моделі үш деңгейлі:

1. Мұнда бәсекелестік артықшылықтарды құруға тікелей әсер ететін басқару үдерістері жүреді – жоспарлауды басқару, шикізатпен қамтамасыз ету көздерін іздеу, тауарларды өндіру, жеткізу және қайтару.

2. Мұнда нақты басқару үдерістері жүреді – тауарлардың қоймалық қорларын құру, тауарларды жеке тапсырыс бойынша жасау.

3. Мұнда бірінші және екінші деңгейдегі үдерістер құрамдас операцияларға және олардың сипаттамасына бөлінеді, операцияның тиімділігін анықтау параметрлері белгіленеді.

Авторлардың қосқан үлесі:

Е.Е. Тулендиев – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар, жазу, қаржыландыру.

Г.Н. Байғужина – мәліметтер жинау, тестілеу, қаржыландыру.

А.Б. Сағатбекова – модельдеу, интерпретация өңдеу, қаржыландыру.

А.Б. Оразалина – визуализация, талдау, қаржыландыру.

Әдебиеттер тізімі:

1. Нурпеисова Г.Б. Цифровая логистика в транспортной отрасли. – Алматы.: Нур-Принт. – 2020. – 432 с.

2. Дмитриев А.В. Логистика транспортно-экспедиторских услуг. 2017. – 385 с.

3. Балгабеков Т.К., Бекмуратова Ж.Р. Особенности транспортно-логистических систем для различных видов транспорта // Труды международной научно-практической конференции «Интеграция науки, образования и производства – основа реализации Плана нации». (Сагиновские чтения № 8), 23-24 июня 2016. – С. 259-261.

4. Нурбаева А.Т., Толысбаев Б.С., Алимбетов У.С., Турдиева З.М. Управление инновационным развитием транзитных перевозок на железнодорожном транспорте. //Вестник университета «Туран». – 2022(3) – № 5. С. 248-259.

5. Николайчук В. Е. Транспортно-складская логистика: учебное пособие / В. Е. Николайчук. 4-е изд. Москва: Дашков и К', 2018. – 452 с.

6. Логистика в коммерческой деятельности [Текст] / сост.: Н. М. Каскатаев [и др.]. - Астана: КазАТУ, 2018. – 119 с.

7. Кудьярова Ж. Т. Транскаспийский международный транспортный маршрут и его влияние на международную логистику // Наука, техника и образование. - 2016. - №4 (22). – 89 с.

8. Шведов В.Е. Транспортная логистика. Грузовые комплексы на транспорте: учебное пособие / Шведов В.Е., Иванова Н.В., Утушкина А.Е. — Санкт-Петербург: Интермедия, 2019. — 192 б.

9. Кубашева Ж.К., Амангосов Б.А. Развитие транспортно-логистического комплекса в западном регионе// Ғылым және білім, 2017, №2 (47) – С. 94-96.

10. Байгобенов Ж.О., Акмухамбетова Д.А. Основные проблемы развития транспортной логистики в Казахстане // Материалы студенческой международной научно-практической

конференции «Современные студенческие исследования: поиски, свершения, перспективы», посвященной 20-летию Ассамблеи народа Казахстана. (Многопрофильный научно-производственный журнал Костанайского инженерно-экономического университета им. М. Дулатова) 2015, №2. – С. 19-20.

Тулендиев Е.Е.¹, Байгужина Г.Н.², Сагатбекова А.Б.¹, Оразалина А.Б.²

¹Казахский агротехнический исследовательский университет

им. С.Сейфуллина, Астана, Казахстан

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

Бизнес-модель оптимальной структуры менеджмента транспортно-логистических центров

Аннотация. Транспортная логистика – это транспортные предприятия, являющиеся участниками процесса распределения товаров, направленные на получение единого экономического результата в логистической цепочке. В данной статье рассматриваются основные факторы роста производительности компании и система распределения приоритетов. Также рассматривается расширение транспортно-логистических систем путем строительства и модернизации транспортно-логистических центров на основных транспортных узлах, в основном в областных центрах. Целесообразность применяемых проектов доказывается с помощью регрессионного анализа, построенного методом классического моделирования. Оптимальное управление транспортно-логистическими центрами имеет ряд преимуществ по сравнению с традиционным методом управления, а также осуществляется путем сбалансированного учета требований основных групп. Модель менеджмента в управлении транспортно-логистическим центром опирается на пять специальных процессов управления. В целом данный анализ является классическим базисным методом вероятностей, т. е. полностью изучает экономические показатели предприятия. Модель основана на пяти специальных процессах управления. При изучении деятельности цепочки поставок в рамках единого плана предусматривается пересечение процессов поставки сырья, подготовки продукции, доставки и возврата, в соответствии с которым координируется деятельность всех компаний-партнеров цепочки.

Компаниям необходимо хорошо понимать свое место в цепочке поставок и возможности повышения эффективности работы.

Ключевые слова: грузоперевозки, транспортный узел, вероятное моделирование, обслуживание, корреляция, грузопоток, снабжение, потребительский спрос, пункт диспетчеризации, сырье.

Tulendiev E.E.¹, Baiguzhina G.N.², Sagatbekova A.B.¹, Orazalina A.B.²

¹*Kazakh Agrotechnical University named by S.Seifullin, avenue Zhenis, 62*

²*Eurasian National University named by L.N. Gumilyov, Street Satpaev, 2. Astana, 010011, Kazakhstan*

Business model of optimal structure of management of transport and logistics centers

Abstract. Transport logistics are transport enterprises that are participants in the process of distributing goods, aimed at obtaining a single economic result in the logistics chain. This article discusses the main factors of the company's productivity growth and the priority allocation system. The expansion of transport and logistics systems through the construction and modernization of transport and logistics centers at major transport hubs, mainly in regional centers, is also being considered. The expediency of the applied projects is proved using regression analysis based on the classical modeling method. Optimal management of the management of transport and logistics centers has a number of advantages over the traditional management method, and is also carried out by balancing the requirements of the main groups. The management model in the management of a transport and logistics center is based on five special management processes. In general, this analysis is a classical basic probability method, i.e. fully examines the economic indicators of the enterprise. The model is based on five special management processes. When studying the activities of the supply chain, a single plan provides for the intersection of the processes of supply of raw materials, product preparation, delivery and return, according to which the activities of all partner companies of the chain are coordinated

Companies need to have a good understanding of their place in the supply chain and the possibilities for improving work efficiency.

Keywords: cargo transportation, transport hub, probable modeling, services, correlation, cargo flow, supply, consumer demand, dispatch point, raw materials.

References

1. Nurpeisova G.B. «Digital logistics in the transport industry». - Almaty: Nur-Print, 2020. - 432 p.
2. Dmitriev A.V. «Logistics of freight forwarding services», 2017. - 385 p.
3. Balgabekov T.K., Bekmuratova Zh.R. Features of transport and logistics systems for various types of transport // Proceedings of the International Scientific and Practical Conference «Integration of science, education and production - the basis for the implementation of the National Plan». (Saginovsky Readings No. 8), June 23-24, 2016. - pp. 259-261
4. Logistikalyk tizbek turaly makala Nurbayeva A.T., Tolysbayev B.S., Alimbetov U.S., Turdieva Z.M. Management of innovative development of transit transportation by rail. //Bulletin of the University «Turan». - 2022(3) – № 5. - 248-259.
5. Nikolaichuk V. E. Transport and warehouse logistics: a textbook / V. E. Nikolaichuk. 4th ed. Moscow: Dashkov and K', 2018. - 452 p.
6. Logistics in commercial activity [Text] / comp.: N. M. Kaskataev [et al.]. - Astana: KazATU, 2018. - p. 119.
7. Kudyarova Zhumagul Tuzbaevna Trans-Caspian international transport route and its impact on international logistics // Science, Technology and education. - 2016. - No. 4 (22). – p. 89 c7

8. Shvedov V.E. Transport logistics. Cargo complexes in transport: a textbook / Shvedov V.E., Ivanova N.V., Utushkina A.E. — St. Petersburg: Intermedia, 2019. - 192 p.

9. Kubasheva Zh.K., Amangosov B.A. Development of the transport and logistics complex in the western region, *Gylym zhane bilim*, 2017, No. 2 (47) – pp. 94-96

10. Baigobenov, Zh.O., Akmukhambetova, D.A. The main problems of the development of transport logistics in Kazakhstan, // Materials of the student International scientific and practical conference «Modern student research: searches, achievements, prospects» dedicated to the 20th anniversary of the Assembly of People of Kazakhstan. (Multidisciplinary Scientific and Production Journal of M. Dulatov Kostanay University of Engineering and Economics) 2015, No. 2. – pp. 19-20.

Авторлар туралы мәлімет:

Е.Е.Тулендиев – э.ғ.к., аға оқытушы, С.Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы, 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы, 87010823987, erlan8383@mail.ru

Г.Н. Байғужина – магистр, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ.Сәтпаев көшесі 2 Астана қаласы, Қазақстан Республикасы, 87023236796, gul_8989@mail.ru.

А.Б. Сағатбекова – магистр, аға оқытушы, С.Сейфуллин атындағы қазақ агротехникалық зерттеу университеті, Жеңіс даңғылы, 62, Астана қаласы, Қазақстан Республикасы, 87784770129, ako.90@mail.ru

А.Б. Оразалина – магистр, аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қ.Сәтпаев көшесі 2 Астана қаласы, Қазақстан Республикасы, 87752424654, orazalina_aida@list.ru

Е.Е.Тулендиев – к.т.н., старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С.Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62, город Астана, Республика Казахстан, 87010823987, erlan8383@mail.ru

Г.Н. Байғужина – магистр, старший преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, улица Сатпаева, 2, Астана, Республика Казахстан, 87023236796, gul_8989@mail.ru.

А.Б. Сағатбекова – магистр, старший преподаватель, Казахский агротехнический исследовательский университет имени С. Сейфуллина, проспект Жеңіс, 62, город Астана, Республика Казахстан, 87784770129, ako.90@mail.ru/

А.Б. Оразалина – магистр, старший преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, улица Сатпаева, 2, Астана, Республика Казахстан, 87752424654, orazalina_aida@list.ru/

Е.Е. Tulendiev – PhD in Economics, Senior Lecturer, Kazakh Agrotechnical University named by S.Seifullin, avenue Zhenis, 62, Astana, Kazakhstan, 87010823987, erlan8383@mail.ru.

Г.Н. Baiguzhina – master, Senior Lecturer, Eurasian National University named by L.N. Gumilyov, Street Satpaev, 2, Astana, Kazakhstan, 87023236796, gul_8989@mail.ru.

A.B. Sagatbekova – master, Senior Lecturer, Kazakh Agrotechnical University named by S.Seifullin, avenue Zhenis, 62, Astana, Kazakhstan, 87784770129. ako.90@mail.ru.

A.B. Orazalina – master, Senior Lecturer, Eurasian National University named by L.N. Gumilyov, Street Satpaev, 2, Astana, Kazakhstan, 87752424654, orazalina_aida@list.ru.

Авторлардың қосқан үлесі:

Е.Е.Тулендиев – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар, жазу, қаржыландыру.

Г.Н. Байгужина – мәліметтер жинау, тестілеу, қаржыландыру.

А.Б. Сагатбекова – модельдеу, интерпретация өңдеу, қаржыландыру.

А.Б. Оразалина – визуализация, талдау, қаржыландыру.

Вклад авторов:

Е.Е.Тулендиев – концепция, методология, ресурсы, написание, получение финансирования.

Г.Н. Байгужина – сбор данных, тестирование, получение финансирования.

А.Б. Сагатбекова – моделирование, интерпретация, редактирование, получение финансирования.

А.Б. Оразалина – визуализация, анализ, получение финансирования.

Author contributions:

E.E. Tulendiev – concept, methodology, resources, writing, obtaining funding.

G.N. Baiguzhina – data collection, testing, and obtaining financing.

A.B. Sagatbekova – modeling, interpretation, editing, obtaining financing.

A.B. Orazalina – visualization, analysis, obtaining financing.



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 67.07.29

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-48-60>

Научная статья

Архитектура музейных комплексов в историческом контексте времени

А.А. Маханова*^{ORCID}, Е.Н. Хван^{ORCID}, А.А. Тойшиева^{ORCID}

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

(E-mail: aziza.makhanova.00@mail.ru)

Аннотация. В рамках данного исследования, посвященного архитектуре музейных зданий, анализируются методы формирования фасадов с учетом их региональных особенностей и географического расположения. Авторы подчеркивают, что в современных условиях проектирование музейных комплексов становится ключевым фактором экономики, влияющим на привлечения туристов, что, в свою очередь, способствует развитию региона. В статье особое внимание уделяется вопросу интеграции музейных комплексов в историческую застройку городского пространства на примере городов: Рим, Ватикан, Нью-Йорк, Бильбао, Марсель, Гиза. Подробно перечисляются характерные черты архитектуры музеев, влияющих на их объемно-пространственное решение. Путем анализа различных музейных комплексов выявляются сходства и различия в архитектурных решениях, а также исследуется воздействие этих решений на посетителей. Подчеркивается важность проведенного исследования для понимания роли архитектуры в создании уникальной и привлекательной среды музейного пространства и для разработки стратегий дальнейшего развития музейной инфраструктуры с учетом современных требований и ожиданий посетителей. Подчеркивается важность инновационных подходов к оформлению фасадов, что не только придает музейным комплексам уникальный облик, но и активно влияет на формирование позитивного восприятия объекта.

Ключевые слова: фасад, архитектурные элементы, декор, архитектурные решения, музейные комплексы.

Поступила 11.12.2023 Доработана 05.02.2024 Одобрена 27.02.2024 Доступна онлайн 30.06.2024

* автор по корреспонденции

Введение

В процессе своего исторического развития музеи претерпели существенные изменения. Однако их фундаментальная роль в обществе продолжает оставаться важной: сохранение, демонстрация и передача будущим поколениям ключевых ценностей и достижений, отражающих дух времени и определенных исторических эпох. В современном контексте, с учетом активного внедрения инновационных технологий, можно дополнить это определение следующим образом: музей обладает способностью предоставлять посетителям прогностическое представление о развитии и изменениях в материальном и духовном мире человека.

Протомузеи, где хранились и демонстрировались произведения искусства широкой публике, начали развиваться в Европе в период эпохи Возрождения и барокко. В этот период архитектурные решения не только служили функциональным целям, но и становились важной частью культурного наследия. В данной статье рассматриваются особенности развития музейных комплексов с учетом времени и региональных особенностей.

Цель исследования – выявить и раскрыть особенности формирования архитектуры музеев в различные исторические периоды.

Методология

Для проведения данного исследования был использован метод анализа научно-методической литературы зарубежных и отечественных источников. Этот метод позволил систематизировать и оценить информацию, представленную в работах исследователей, изучающих историю архитектуры музейных комплексов. Анализ литературы позволил выявить общие тенденции в развитии архитектуры музеев, с учетом их исторического развития в контексте временных изменений.

Результаты и Обсуждение

Современное понимание музейного здания во многом сложилось в эпоху Возрождения. Музеем стали называть не только коллекции, но и помещения, в котором они хранились [1].

Главной особенностью архитектуры музеев эпохи Возрождения стало воссоздание античных архитектурных элементов в решении фасадов и принципов, впервые проявившихся в Древней Греции и Риме. Архитекторы и строители XIV-XVI вв. стремились к созданию зданий, которые не только служили важными хранилищами искусства и знаний, но и функционировали как архитектурные искусственные анклавы, отсылающие зрителя к классической античности. Музеи были созданы с учетом архитектурных особенностей, в которых элементы античности формировали городское пространство, активно выделяющееся за счет стиля, цвета, декора в окружающей среде.

В решении фасадов это выражалось в следующих ключевых аспектах:

- использование колонн и арок;
- соблюдение симметрии относительно вертикальной оси и пропорций;
- применение натуральных отделочных материалов;
- исполнение декоративных элементов: скульптур, рельефов, барельефов, дорические, ионические и коринфские колонны.

Примером музейного комплекса, состоящего из трех зданий, эпохи Возрождения служат Капитолийские музеи (рис. 1).

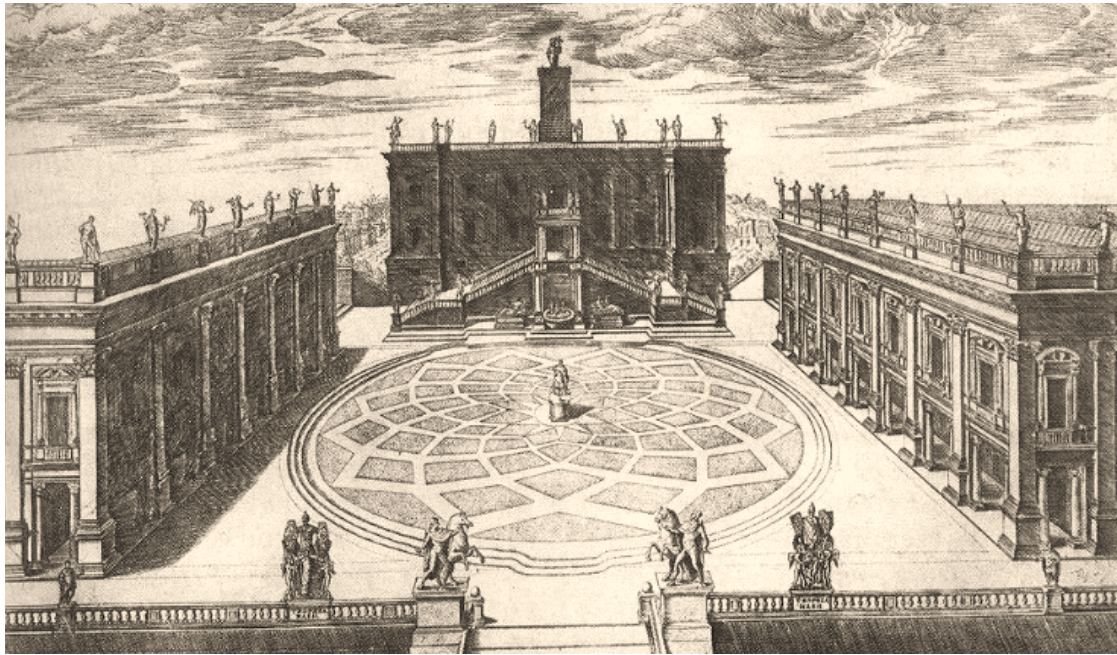


Рисунок 1. Капитолийская площадь, проект Микеланджело Буонарроти. Гравюра Этьена Дюперака, 1568 год

Капитолийские музеи считаются старейшими музеями мира, располагающимися на одном из семи холмов Рима, что придает им историческую и архитектурную важность, увеличивая их привлекательность для посетителей, что влияет позитивно на развитие туристической отрасли [2].

Они были основаны в 1471 году, однако официально открыты для публики в 1734 году. Музеи, спроектированные Микеланджело Буонарроти, являются частью архитектурного ансамбля, которые стали образцом ренессансной архитектуры. Здания комплекса композиционно объединены повторяющимися элементами на их фасадах, таких, как арки, барельефы, узорчатые оконные проемы с изящными балясинами, капители дорические, ионические и коринфские. Элементы фасадов воссоздают классический стиль античных римских построек.

Уникальным примером музеев в стиле барокко являются Ватиканские музеи (рис. 2).

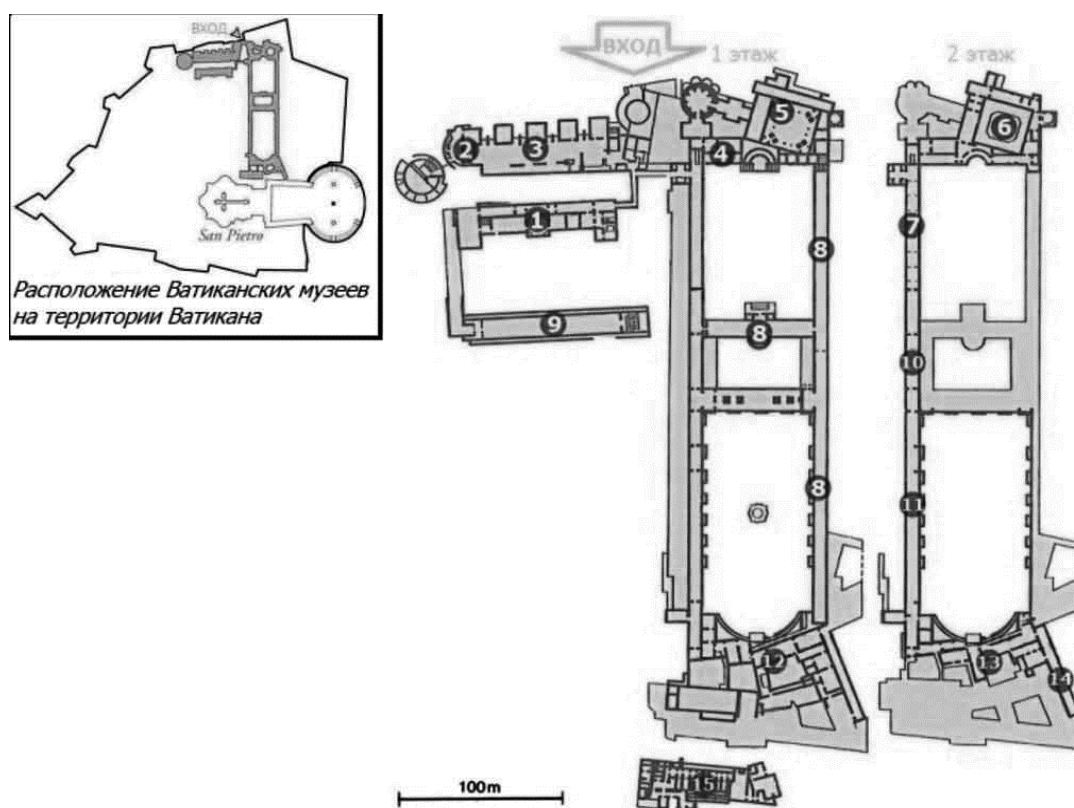


Рисунок 2. План Ватиканских музеев

1 – Пинакотека, 2 – Музей Пио-Кристиано, 3 – Этнологический миссионерский музей, 4 – Григорианский миссионерский музей, 5 – Музей Пия-Климента, 6 – Григорианский Этрусский музей, 7 – Галерея канделябров, 8 – Музей Кьярамонти, 9 – Исторический музей, 10 – Галерея Арацци (Галерея гобеленов), 11 – Галерея географических карт, 12 – Апартаменты Борджиа, 13 – Станцы Рафаэля, 14 – Лоджии Рафаэля, 15 – Галерея современного религиозного искусства.

На смену эпохе Возрождения пришло барокко, имеющее следующие отличительные особенности, которые отразились в архитектуре зданий Ватиканских музеев и широко использовались в зданиях подобного типа:

- богатый декор и живописные цвета;
- изогнутые линии, использовавшиеся в оформлении элементов фасадов;
- сложные украшения карнизов и фронтонов;
- драматичные изображения скульптурных композиций, расположенных в нишах.
- мифологические сюжеты изображены в рельефах и барельефах, которые искусно детализированы;
- прямоугольные оконные проемы и балконы создают игру света и тени, усиливая визуальный эффект при взаимодействии с изменяющимся освещением;
- множество скульптур украшают фасады зданий, включая статуи и композиции с богатой символикой.

Таким образом, музеи в период барокко отличались от музеев эпохи Возрождения своей экстравагантностью и драматизмом, а также более активным использованием

архитектурных и декоративных элементов для создания визуального воздействия на посетителей.

Ватиканские музеи были основаны в начале 16 века Папой Юлием II. Они составляют огромный комплекс из двадцати шести музеев, объединенных пятьюдесятью четырьмя галереями. Здания музеев состоят из тысячи четырехсот комнат и двадцати внутренних двориков, включая Сикстинскую капеллу [3]. Внутренние дворики Ватиканских музеев представляют собой значимую часть архитектурного ансамбля и являются открытыми центрами для общения посетителей, созданными для созерцания богато декорированной пластики фасадов зданий (рис. 3).



Рисунок 3. Внутренний дворик Ватиканских музеев

Одним из значимых примеров музеев в неоклассическом стиле является музей искусств Метрополитен, который находится в Нью-Йорке, США (рис. 4 и 5). Музей был основан в 1870 году и открыт для посещения в 1872 году [4].



Рисунок 4. Музей искусств Метрополитен

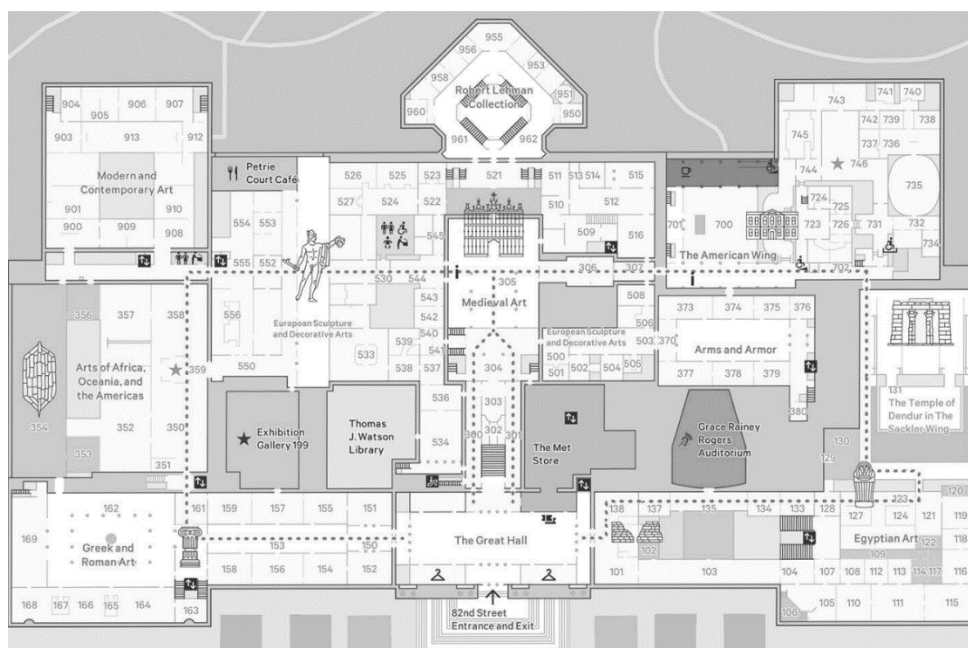


Рисунок 5. План 1 этажа музея Метрополитен

В конце 18 и в начале 20 века многие музеи при проектировании придерживались неоклассического стиля, особенностями которого являются:

- применение дорических или ионических портиков с прямыми линиями;
- использование колонн, аркад и пилястр;
- предпочтение строгих линий и геометрической симметрии;
- проектирование оконных проемов, обеспечивающих равномерное проникновение естественного освещения;
- формирование просторных вестибюлей.

Именно в том периоде формировались принципы проектирования музеев, которые стали характерными для данных зданий, такие, как большие лестницы, открытые дворики, длинные залы, своды и колоннады, парадная с активно декорированной входной группой, ниши, рельефы, барельефы, скульптуры, пилястры, порталы.

Здание музея искусств Метрополитен украшено классическими архитектурными деталями, такими, как колонны, пилястры и барельефы. Оно представляет собой внушительное сооружение с активной порталной частью фасада, которая воплощает эстетическую гармонию.

Архитектурные решения современных музеев сосредоточены на внедрении инноваций, функциональности и на реализации необходимых эффектов визуального воздействия на зрителей [5]. С учетом вышеперечисленного современные музейные комплексы, возведенные в период с 20-го века и по настоящее время, демонстрируют следующие характерные им особенности в архитектуре, такие, как:

1. Нелинейные формы, полученные путем использования геометрических концепций или органических линий и прообразов в композиции объекта. Это придает зданию

музея индивидуальный вид, в соответствии с архитектурной задумкой, благодаря чему многие музеи стали уникальными, являясь символом региона или города.

2. Прозрачность и свет: современные музеи обычно применяют обилие естественного света внутри экспозиционных помещений, проектируя широкие стеклянные фасады и огромные оконные проемы. Это создает визуальную связь между внутренними и внешними пространствами, что обогащает зрительное восприятие посетителей.

3. Инновации в организации пространства: современные музеи стремятся к созданию максимально функциональных и гибких интерьеров, позволяющих легко адаптировать выставки и мероприятия. Поэтому в приоритете применение трансформируемых перегородок, чтобы варьировать конфигурацией помещений в зависимости от потребностей.

4. Современные технологии в музеях, такие, как: интерактивные экраны, виртуальная реальность и мультимедийные инсталляции, которые используются для обогащения визуального восприятия с целью реализации образовательных задач.

Примером уникального музея может служить «Гуггенхайм-Музей», находящийся в городе Бильбао, Испания (рис. 6, рис 7). Музей спроектирован архитектором Фрэнком Гери и был открыт в 1997 году [6].



Рисунок 6. «Гуггенхайм-Музей»



Рисунок 7. Вид на музей

Фасады музея характеризуются оригинальными архитектурными формами и сложной геометрией. Плоскости фасада многочисленно изогнуты и облицованы плитками из титановых пластин, которые придают теплый оттенок объекту. Эти панели расположены под разными углами к естественному свету, что создает разные вариации оттенков и отражают на поверхности городской пейзаж, это все придает фасадам динамичность. Благодаря этому воплощается иллюзия, будто музей является «живым, дышащим организмом» в структуре городской среды.

Смешение инновационных материалов и сложной геометрии фасадов делает музей Гуггенхайма уникальным архитектурным объектом, символизирующим креативный подход к воплощению современной архитектуры.

Следующим примером может являться музей цивилизации Европы Средиземноморья, расположенный в городе Марсель, Франция, архитектор Руди Риччотти (рис. 8 и 9).



Рисунок 9. Вид на музей цивилизации Европы и Средиземноморья

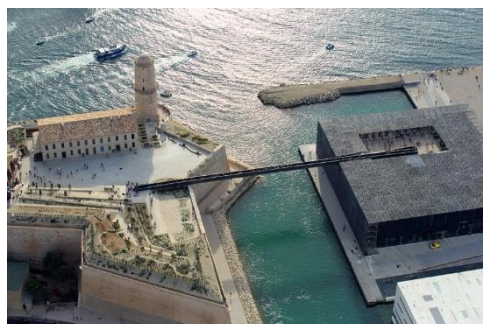


Рисунок 8. Музей цивилизации Европы и Средиземноморья

Музей построен в 2013 году и отличается уникальной архитектурной концепцией внутреннего пространства, оформленного с учетом современных требований для выставок и мероприятий, в котором за счет больших плоскостей остекления подчеркивается открытость, светопроницаемость с целью усиления внутренних и внешних визуальных связей [7].

Со стороны бухты часть фасадов музея закрыты перфорированными бетонными панелями, на которые нанесена структурная имитация, напоминающая кораллы, переплетение жгутов, морскую пену прибора. Эти панели создают слой, который служит защитой от прямых и отраженных от водной глади солнечных лучей. Конструктивная основа здания имеет форму куба и композиционно гармонично вписывается в сложившуюся историческую среду за счет статичности формы, в которой декор создает ощущение легкости.

Одним из современных музейных зданий является Большой Египетский музей в Гизе (рис. 10 и 11).



Рисунок 10. Фасад Большого Египетского музея.



Рисунок 11. Общий вид на Большой Египетский музей.

Музей находится в двух километрах от пирамид Гизы, и именно эта близость к историческому наследию послужила мотивом в оформлении его фасадов, в решении

которых просматривается образ пирамид. Большой Египетский музей представляет собой архитектурное произведение, где современная функциональность сочетается с образом пирамид, подчеркивающим связь с символом древнеегипетской эстетики, который использовался в оформлении фасадов. Здание с 2023 года открыто в тестовом режиме работы [8].

Заключение

В процессе работы над статьей были изучены уникальные для своего времени объемно-пространственные решения музейных зданий. Вследствие исследования можно выявить следующие особенности, тенденции формирования архитектуры музеев, с учетом времени их строительства и социальных потребностей:

1. Эпоха Возрождения выделяется своими музеями, которые были преобразованы из мусейонов – центров хранения экспонатов, реализующих религиозные, учебные, исследовательские потребности. Поэтому в музеях Возрождения присутствовали, помимо помещений для хранения и демонстрации экспонатов, функциональные зоны, характерные для мусейонов. В пластике фасадов музеев Возрождения были воссозданы античные композиционные решения с использованием характерных для того периода времени элементов.

2. Характерные черты барокко с его экстравагантными фасадами подчеркивает грандиозность и драматизм, что проявляется во многих сооружениях музейных комплексов. Фасады музеев в этот исторический период отличаются витиеватыми, изогнутыми линиями и обилием декора, а также использованием природных материалов, таких, как гранит или мрамор, что придает внешнему облику роскошь и является особенностью данного стиля.

3. Неоклассический стиль в архитектуру музеев привносит более просторные залы, формирующие симметричные блоки комплекса с колоннадами и доминирующим порталом входной группы в композиции фасада, что придавало зданию монументальность. Придавалось большое значение зонам главного холла, вестибюля как важной парадной части входной зоны музея. Это выражалось в использовании декоративных элементов, которые помогали настроить зрителя на определенную волну перед просмотром выставки. Данные пространства были открытыми, хорошо освещенными естественным светом, с элегантными колоннами и декоративными элементами. В целом стилю неоклассицизма было характерно сочетание элементов смягченного модерна и классической архитектуры.

4. Архитектура современных музеев может быть охарактеризована:

- применением нестандартных материалов в архитектуре;
- стремлением к формированию сложных форм и планов по конфигурации, способных подчеркнуть культурный подтекст образа объекта, что помогает реализовать национальный колорит;
- использованием интерактивных технологий, помогающих посетителям углубиться в тематику выставки, такие, как: экраны, комната виртуальной реальности, 3-D кинолекционные залы.

Музеи играют важную роль в культурном туризме и сами по себе могут быть достопримечательностью туристической дистанции, и в целом они оказывают влияние на местную экономику, а также способствуют повышению образовательных потребностей.

Вклад авторов

Маханова А.А. – существенный вклад в концепцию и дизайн работы, сбор, анализ и интерпретация результатов работы, написание текста и критический пересмотр его содержания, согласие нести ответственность за все аспекты работы, надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с достоверностью данных или целостностью всех частей статьи.

Хван Е.Н. – написание текста и критический пересмотр его содержания, утверждение окончательного варианта статьи для публикации, согласие нести ответственность за все аспекты работы, надлежащее изучение и решение вопросов, связанных с достоверностью данных или целостностью всех частей статьи.

Тойшиева А.А. – написание текста и критический пересмотр его содержания.

Список литературы

1. Возникновение музея как социокультурного учреждения, 06.11.2018 [Электронный ресурс] - URL: <https://iskusstvoed.ru/2018/06/11/vozniknovenie-muzeja-kak-sociokultu/> (дата обращения: 11.10.2023).
2. Слесаренко Д.В. Расширение римских Капитолийских музеев и проектирование нового зала на месте древнего «Романского сада» // Сборник докладов национальной конференции с международным участием. Том Часть 2. - Белгород, 2022. – С. 268-275.
3. Довнар А.М. Музеи Ватикана как главная сокровищница культурного наследия // Сборник статей III международного научно-исследовательского конкурса. - Пенза, 2022. – С. 20-24.
4. Филимонов А.Е. Национальная идентичность в пространстве музея: Метрополитен-музей и национальный музей Соединенных Штатов в конце XIX-начале XX вв //Музей. Памятник. Наследие. – 2017. – №. 1. – С. 18-28.
5. Арынов К.К. Архитектура музеев и выставочных комплексов города Астаны // Вестник Евразийского национального университета имени Л.Н. Гумилева. - 2019. – №4 (129). – С.16. <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2019-129-4-16-22>
6. Прокудина Д.А. Современный музей как ресурс для развития туристской отрасли региона // Вестник РМАТ. - 2016. – № 12. – С. 122-123.
7. Конт Ф. От этнографических музеев к музеям общества: французский опыт // Вестник РГГУ. Серия: Литературоведение. Языкознание. Культурология. - 2008. – № 10. – С. 251-256.
8. Большой Египетский музей, современный храм египтологии, 23.06.2021 – [Электронный ресурс] - URL: <https://amusementlogic.ru/2021/06/23/bolshoj-egipetskiy-muzej-sovremennyj-hram-egiptologii/> (дата обращения: 12.10.2023).

А.А. Маханова*, Е.Н. Хван, А.А. Тойшиева

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

Тарихи уақыт контекстіндегі мұражай кешендерінің сәулеті

Аңдатпа. Мұражай ғимараттарының архитектурасына арналған зерттеу аясында, қасбеттерді қалыптастыру әдістері – олардың аймақтық ерекшеліктері мен географиялық орналасуын ескере отырып талданады. Авторлар қазіргі жағдайда мұражай кешендерін жобалау – туристерді тартуға әсер ететін экономиканың негізгі факторына айналатынын, бұл өз кезегінде аймақтың дамуына ықпал ететінін атап көрсетеді. Мақалада Рим, Ватикан, Нью-Йорк, Бильбао, Марсель, Гиза қалаларының мысалында мұражай кешендерін қалалық кеңістіктегі тарихи құрылысқа біріктіру мәселесіне ерекше назар аударылады. Мұражайлар архитектурасының көлемдік-кеңістіктік шешіміне әсер ететін сипаттамалары егжей-тегжейлі келтірілген. Әр түрлі мұражай кешендерін талдау арқылы архитектуралық шешімдердегі ұқсастықтар мен айырмашылықтар анықталады, сонымен қатар бұл шешімдердің келушілерге әсері зерттеледі. Сондай-ақ, мұражай кеңістігінің бірегей және тартымды ортасын құрудағы архитектураның рөлін түсіну үшін, сондай-ақ келушілердің заманауи талаптары мен үміттерін ескере отырып, мұражай инфрақұрылымын одан әрі дамыту стратегияларын әзірлеу үшін жүргізілген зерттеудің маңыздылығы атап өтіледі. Қасбеттерді безендіруге инновациялық тәсілдің маңыздылығы атап өтіледі, бұл мұражай кешендеріне ерекше көрініс беріп қана қоймай, сонымен қатар объектіні оң қабылдауды қалыптастыруға белсенді әсер етеді.

Түйін сөздер: қасбет, сәулет элементтері, декор, сәулет шешімдері, мұражай кешендері. қасбет, сәулет элементтері, декор, сәулет шешімдері, мұражай кешендері.

A.A. Makhanova*, Y.N. Khvan, A.A. Toishiyeva

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

Assessment of the Higher Education System of Kazakhstan and Issues of Its Quality Management

Abstract. This study, which focuses on the architecture of museum buildings, analyzes the methods of shaping facades, with consideration of its regional setting and geographic location. The authors emphasize that in current conditions the design of museum facilities becomes a key economic factor affecting the tourist attraction, which, in turn, facilitates economic development of the region. The article puts special emphasis on the integration of museum facilities into historical urban development, by giving the example of the cities of Rome, Vatican, New York, Bilbao, Marseille, Giza. It covers in detail the typical features of the architecture of museums that affect their space planning. By analyzing different museum sites, the authors identify both similarities and differences in architectural solutions and examine the impact of these solutions on visitors. The study also emphasizes the importance of the research for understanding the role of architecture in creating a unique and attractive environment of the

museum space, as well as for developing strategies for further development of museum infrastructure considering current requirements and visitor expectations. The paper highlights the importance of innovative approaches to facade design, which not only gives museums a unique appearance, but also has a strong role in shaping its positive perception.

Keywords: facade, architectural elements, decoration, architectural solutions, museum facilities.

References

1. Vozniknovenie muzeja kak sociokul'turnogo uchrezhdenija v period, [The emergence of the museum as a socio-cultural institution during the period]. Available at: <https://iskusstvoed.ru/2018/06/11/vozniknovenie-muzeja-kak-sociokultu/.htm> (accessed: 11.10.2023).
2. Slesarenko D.V. Rasshirenie rimskih Kapitolijskih muzeev i proektirovanie novogo zala na meste drevnego «Romanskogo sada» [Expansion of the Roman Capitoline Museums and Designing a New Hall on the Site of the Ancient 'Roman Garden'] (Belgorod, 2022. – pp. 268-275) [in Russian]
3. Dovnar A. M. Muzei Vatikana kak glavnyj sokrovishnica kulturnogo naslediya [The Vatican Museums as the main treasury of cultural heritage] (Penza, 2022. – pp. 20-24) [in Russian]
4. Filimonov A. E. Nacional'naja identichnost' v prostranstve muzeja: Metropoliten-muzej i nacional'nyj muzej Soedinennyh Shtatov v konce XIX-nachale XX vv [National Identity in the Museum Space: The Metropolitan Museum and the National Museum of the United States in the Late 19th to Early 20th Centuries] Muzej. Pamjatnik. Nasledie [Museum. Monument. Heritage] ». 1. 18-28(2017). [in Russian]
5. Arynov K.K. Arhitektura muzeev i vystavochnyh kompleksov goroda Astana [The Architecture of Museums and Exhibition Complexes in the City of Astana] Vestnik ENU im. L.N. Gumileva. Serija Tehnicheskie nauki i Tehnologii [BULLETIN of the L.N. Gumilyov Eurasian National University. Technical sciences and Technology Series]». 4(129). 16-22(2019), <https://doi.org/10.32523/2616-7263-2019-129-4-16-22>. [in Russian]
6. Prokudina D.A. Sovremennyy muzej kak resurs dlja razvitija turistskoj otrasli regiona [The modern museum as a resource for the development of the tourism industry in the region] Vestnik Rossijskojo mezhdunarodnoj akademii turizma [BULLETIN of the Russian International Academy of Tourism]». 12. 122-123(2016). [in Russian]
7. Kont F. Ot jetnograficheskikh muzeev k muzejam obshhestva: francuzskij opyt [From Ethnographic Museums to Museums of Society: The French Experience] Vestnik RGGU. Serija Literaturovedenie. Jazykoznanie. Kul'turologija [BULLETIN of the RSHU. Literary Studies. Linguistics. Cultural Series]». 10. 251-256(2008). [in Russian]
8. Bol'shoj Egiptskij muzej, sovremennyy hram egiptologii, [The Grand Egyptian Museum, a modern temple of Egyptology]. Available at: <https://amusementlogic.ru/2021/06/23/bolshoj-egiptskij-muzej-sovremennyy-hram-egiptologii/> (accessed 12.10.2023)

Сведения об авторах:

Маханова А.А. – автор для корреспонденции, магистрант 1 курса, архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Хван Е.Н. – кандидат архитектуры, и.о. доцента, кафедра «Архитектура», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Тойшиева А.А. – почетный архитектор РК, и.о. доцента, кафедра «Архитектура», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, ул. Сатпаева, 2, Астана, Казахстан.

Маханова А.А. – хат-хабар авторы, 1 курс магистранты, сәулет-құрылыс факультеті, Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан.

Хван Е.Н. – Сәулет» кафедрасының, сәулет-құрылыс факультетінің сәулет кандидаты, доцент м.а., «Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан.

Тойшиева А.А. – ҚР құрметті сәулетшісі, «Сәулет» кафедрасының, сәулет-құрылыс факультетінің доценті м.а., Еуразия ұлттық университеті, Сәтбаев көшесі, 2, Астана, Қазақстан.

Makhanova A.A. – corresponding author, 1st year Master’s student, School of Architecture and Civil Engineering, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 2 Satpaeva str., Astana, Kazakhstan.

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), 2 Satpaeva str., Astana, Kazakhstan.

A.A. Toishiyeva – Architect, Senior Lecturer, Acting Associate Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University (ENU), 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 67.17.25, 29.37.35

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-61-76>

Review

Review of Existing Solutions for Vibroacoustic Monitoring of Construction Sites

Yelbek Uteпов¹, Alisher Imanov*¹, Assel Mukhamejanova¹, Aigul Kozhas¹,
Sungat Akhazhanov³

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

³Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan

(E-mail: glad.alisher@gmail.com)

Abstract. The article explores the potential application of various solutions that allow monitoring noise and vibration to some extent on construction sites. Over 20 scientific articles presenting experimental research and experience with noise and vibration monitoring systems were reviewed. The articles were collected from leading journals indexed by scientometric databases. The reviewed articles were categorized into solutions for noise monitoring, vibration monitoring, and multifunctional solutions. As a result of the review of solutions in the field of acoustic monitoring, important trends and prospects for further research were identified. There is a recognized need for the development of more accurate methods for filtering background noise and accounting for the characteristics of different construction sites. Regarding solutions for vibration monitoring, the review revealed a need for a more in-depth investigation into the identification and classification of vibration sources for accurate assessment of their indicators. The review of multifunctional solutions and systems showed that additional research and testing are required for a full assessment of their effectiveness and applicability in practice. Successful implementation of such systems requires attention to their flexibility and the ability to install various types and scales on construction sites. Furthermore, emphasis should be placed on training personnel for the effective use of equipment or ensuring their qualifications match the ability to use vibroacoustic complexes.

Keywords: noise, vibration, monitoring, compact urban development, sensors.

Received on 25.12.2023 Finalized on 05.02.2024 Approved on 19.03.2024 Available online on 30.06.2024

* the corresponding author

Introduction

The modern process of building construction is characterized by numerous noise and vibration impacts. Sources of noise and vibrations include heavy machinery, equipment, tools, as well as various processes during construction works. Due to technological progress on construction sites, the use of various noisy equipment is widespread. Under the guidance of modern architects, buildings have not only acquired diverse architectural forms but have also significantly expanded, gaining more complex frameworks and internal equipment, contributing to an overall increase in noise levels [1]. Depending on the scale of construction, noise and vibration levels can reach several hundred decibels [2]. Such noise and vibration impacts can negatively affect the lives and health of residents near the construction site of residential buildings and visitors to non-residential buildings. Prolonged exposure to high levels of noise can lead to gradual hearing loss. Persistent noise can cause stress, insomnia, and other psychological problems. A high level of noise can also lead to increased blood pressure and an increased risk of cardiovascular diseases [3]. In addition, constant noise and vibration can worsen the overall quality of life, leading to negative social and psychological consequences. Vibration can also impact the operation of technical equipment and machinery in adjacent buildings, causing breakdowns and reduced efficiency of these devices. Intensive construction, especially when creating large-scale buildings, tends to increase the negative impact on the environment. This is evident in the growing number of complaints about noise and vibration worldwide. For instance, in South Korea, complaints related to noise on construction sites represent a significant portion, accounting for 64.6% of the total complaints about noise and vibration [4]. In light of this trend, the implementation of noise and vibration monitoring systems on construction sites becomes extremely important. Effectively controlling these parameters can minimize the negative impact on the environment and ensure compliance with regulations. Regular monitoring of noise and vibration can also contribute to prompt response to issues and the implementation of measures to improve conditions for local residents and the surrounding area.

The purpose of this review is to explore the potential of the solutions currently employed on construction sites for monitoring noise and vibration, as well as their advantages and disadvantages.

To initiate the review, over 40 experimental scientific articles on the measurement and monitoring of noise and vibration on construction sites were collected from reputable scientific publications. The sorting and categorization of articles were conducted in two stages. In the first stage, attention was given to the titles, abstracts, and conclusions of the articles, from which more than 20 most relevant to the review's topic were selected. Depending on the ideas conveyed in the titles, abstracts, and conclusions, the articles were sorted into three categories: 1) solutions for noise; 2) solutions for vibration; 3) multifunctional solutions.

Thus, this research aims to systematize knowledge in the field of applied tools and systems for vibroacoustic monitoring of construction sites. It is expected that the results of the study will not only deepen the theoretical understanding of noise and vibration monitoring but also have a significant impact on further advancements in this direction.

1. Solutions for noise monitoring

1.1 Review of existing solutions

The authors [5] conducted noise monitoring at 26 construction sites of various sizes throughout Kuwait using the Bruel & Kjaer sound level meter. During the study, it was found that the Equivalent Continuous Sound Pressure Level (LAeq) at a distance of 5 meters from the noise source varied from 69 to 88 dB. It is worth noting that the LAeq range includes nearly 64% of the measured noise levels at the investigated construction sites. In comparison to other noise monitoring devices, this option is used solely for measuring the noise level.

[6] invented the SAVE (Surveillance of Acoustics and Vibration in the Environment) noise monitoring system based on display boards placed at the corners of the construction site, showing the current noise level in decibels. This process involves selecting key factors, using sensor networks for monitoring, applying big data evaluation methods, and developing an intelligent system for automatic control. The scientific work by the authors [4] examines an automated system for measuring ambient noise developed by the Korean Environmental Protection Agency. This system, ensuring high reliability of noise measurement data, is actively applied on construction sites in South Korea. Features include an outdoor-use microphone with pre-calibration, a status indicator displaying the current time and the equivalent continuous sound pressure level (LAeq) over the last 5 minutes, and a data storage system recording LAeq values for various time intervals and providing storage for noise data and video recordings from the surveillance camera. The system also offers communication capabilities via telecommunication networks (LTE, CDMA, etc.) or Ethernet networks (wireless, wired LAN, etc.). A crucial aspect is continuous monitoring, octave analysis, the presence of two surveillance cameras for each microphone, built-in GPS, user customization of the permissible noise level, and an alarm for exceeding it. The study proposes a real-time monitoring method aimed at efficiently measuring parameters inside the construction site to reduce environmental pollution levels. However, simply measuring the noise impact level of some machinery and equipment operators used on construction sites does not fully reveal the extent of the health damage to which workers are exposed while performing their duties.

The authors [7] conducted noise monitoring at construction sites using the Internet of Things (IoT). For the corresponding device required for this project, a specific configuration is needed to activate the device and launch the operating system on the Raspberry Pi 3 B+ model. The device requires a minimum of 8 GB of RAM with pre-installed New Out Of Box Software (NOOBS). This helped them process measurement data faster and store the history on the hard drive. Information from the sensor passes through the Raspberry Pi. The Raspberry Pi analyzes the noise level in decibels, and then this data is transmitted for storage on a cloud server through the Favoriot platform.

Researchers [8] have developed Wireless Acoustic Sensor Networks (WASNs) for measuring noise and recognizing acoustic events in urban environments (Figure 1).

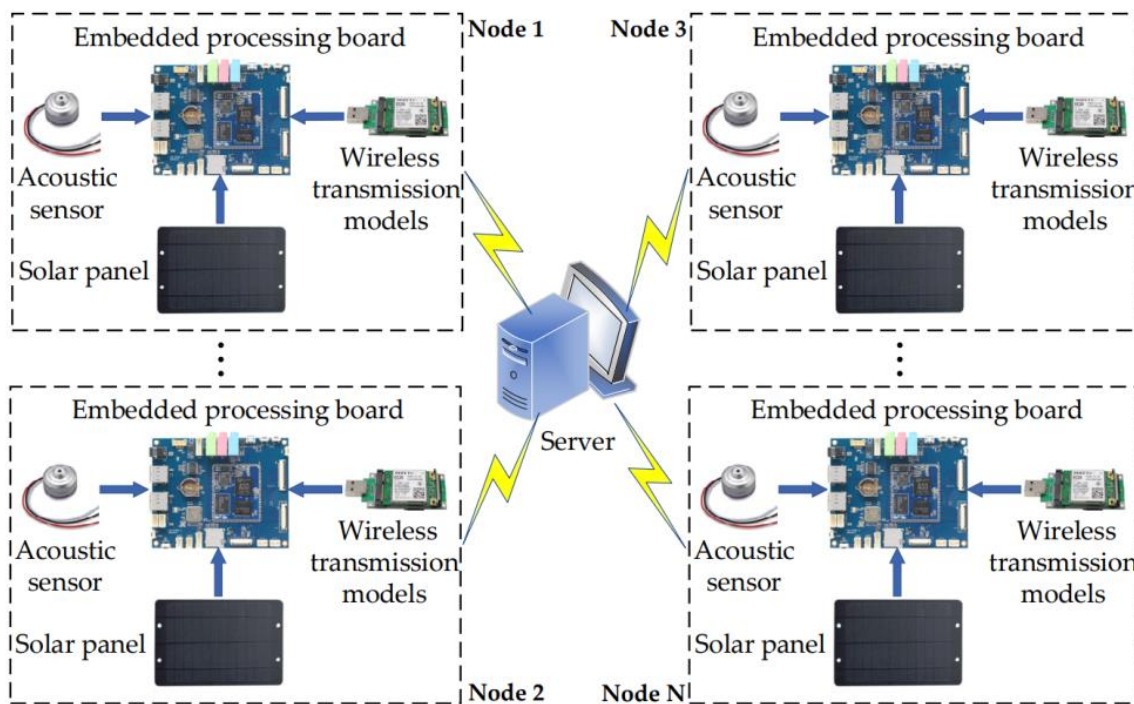


Figure 1 – Scheme of the system proposed by the researchers [8]

The feature of these networks is that signals are processed by built-in processor boards using the method of endpoint detection and the Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM) sound encoding method, which utilizes adaptive differential quantization to compress the audio signal. Adaptive Differential Pulse Code Modulation (ADPCM) is a digital audio compression algorithm used to encode and compress audio signals while maintaining reasonable sound quality. In simple terms, this is a way of representing sound using less data. In the ADPCM process, the audio signal is analyzed, and the differences between consecutive samples are encoded, rather than the samples themselves. This reduces the amount of transmitted data while preserving important aspects of the sound. The adaptability lies in the fact that quantization (encoding of sound levels) can vary depending on the characteristics of the audio signal. Additionally, it uses a solar panel with a built-in 5V battery with a capacity of 10,500mAh, allowing the processor board to operate continuously for about two days without sunlight. It is claimed that the total cost of the sensors does not exceed \$100. However, additional components such as the processor board with an extensive audio interface and a high-performance audio encoder to improve sound quality require additional expenses. Furthermore, the board is equipped with an A33 processor, which uses a 4-core CPU (Cortex™-A7: Advanced RISC Machines, Cambridge, UK) and a graphics processor (Mali-400 MP2: ARM Norway, Trondheim, Norway) with a frequency of up to 1.2 GHz. It also has 1GB of RAM and 8GB of built-in memory, making the solution relatively expensive.

The approaches discussed in the articles and studies on noise monitoring at construction sites represent a significant step towards the effective control of the impact of construction activities on the environment and people's health. The development of IoT sensor systems, including the

use of microcomputers, not only demonstrates a reduction in the cost and size of systems but also the implementation of autonomous solar-powered systems, improving their mobility and sustainability. The unique approach proposed by [6], involving displays placed at the corners of the construction site to show the current noise level, emphasizes the importance of diversity and innovation in the field of monitoring. While some researchers [7] suggest using the Internet of Things for noise monitoring, others [8] present wireless networks for noise measurement and acoustic event recognition, providing adaptability and low cost. However, despite technological innovations, issues such as cost and effectiveness remain open and require further research to create more affordable and widely applicable noise monitoring systems.

1.2 Applications

High-precision Bruel & Kjaer sound level meters are capable of determining the level of impulse noise generated by machinery equipment. They are designed for measuring sound pressure levels, vibration acceleration, and analyzing sound pressure signals in 1/1 and 1/3 octave frequency bands. The utilization of these sound level meters has been documented in earlier studies, such as those conducted in the Kuwait Metro [5], the road construction in Romania [9], and various sound parameters in Denmark[10].

Surveillance of Acoustics and Vibration in the Environment is widely employed in the United States for noise management [6]. Its frequent parameter updates (transmitting measurements to the main data processing station every five minutes) have led to its use in international locations such as the Mexico City airport [11]. The convenience of wireless network operation, facilitating constant monitoring and reporting to a central dispatcher, has been recognized during its application in France [11].

Practicing construction industry professionals in Malaysia have acknowledged significant advantages attributed to the continuous monitoring of construction processes and equipment offered by the Internet of Things [12], where the system was utilized by hundreds of respondents. Meanwhile, in Hong Kong, its efficacy in noise monitoring has been underscored, even in comparison to Building Information Modeling.

While high-precision sound level meters offer accurate measurements, their widespread use raises concerns about cost and accessibility. The surveillance system provides real-time updates but may face challenges related to infrastructure costs. While the Internet of Things offers advantages in continuous monitoring, its efficacy in noise monitoring requires further evaluation.

2. Solutions for vibration monitoring

2.1 Review of existing solutions

The authors of the study [13] presented an autonomous system for monitoring bridge vibrations. In addition to an economical sensor system for monitoring structural characteristics, the authors also developed software for analyzing vibration characteristics using RESNIK AND GERSTENBERG. The work utilizes a 3-axis accelerometer based on a micro-electromechanical

system (MEMS) (WILD-PFEIFFER AND SCHÄFER) and is equipped with a memory card slot and a built-in battery. A micro-electromechanical system (MEMS) is a technology that integrates mechanical and electrical components at a very small scale, typically at the microscale level, ranging from micrometers to millimeters. The battery allows the device to operate for about 8 hours at maximum power consumption and up to 80 hours under normal conditions, making it an effective tool for measurement processes. The measurement procedure and subsequent data analysis are illustrated using the example of the Komtur Bridge in Berlin, Germany. This bridge was chosen due to its pronounced and clearly perceptible vibrational behavior.

Article [14] describes the development of an affordable and flexible data collection system for long-term continuous monitoring of structural conditions through vibration. The main challenges involve a limited budget, the remote location of sensors, and complex ambient vibration conditions. Multilevel solutions are proposed, including the selection of suitable accelerometers and their optimal placement, as well as the use of an Ethernet-based DAQ model to reduce costs. A data synchronization method is suggested using TCP/IP for time coordination and periodic system resynchronization.

In article [15], the development of an Internet of Things (IoT) sensor system for monitoring vibration induced by construction and assessing its impact is discussed. The use of a Raspberry Pi microcomputer and MEMS accelerometer is described to reduce the cost and size of the system. The system includes remote data transmission and access features, as well as autonomous power from a solar battery. Successful tests were conducted in the laboratory and on a construction site, confirming the effectiveness of the system.

In the scientific study [16], vibration monitoring was carried out on the Qingdao metro in China, from Lijia Xiazhuang station to Laoshan station. The vibration monitoring system includes instruments such as the vibrosensor 941 B, shown in Figure 2, and the Universal Dynamic Data Collector D1000A. Apparently, such vibration sensors are primarily used for measuring ultralow or low-frequency vibrations, and the cost of just one unit on the market exceeds \$1000.



Figure 2 – Vibration sensor 941 B (manufactured in China) [8]

The authors of article [17] conducted a study on monitoring vibrations resulting from explosions during the construction of a new tunnel adjacent to an existing railway tunnel. They employed a wireless sensor network (WSN) to monitor concrete stress and peak particle velocity (PPV) in the surrounding environment. The authors deployed a WSN consisting of the UBOX-5016 explosive vibration monitoring system and the SZYC wireless remote data collection system in the existing tunnel in the Shaanxi province, China. They placed velocity and deformation sensors on the tunnel walls, transmitting data through a wireless local area network (WLAN) to a computer for analysis. They also performed preliminary data processing, including DC removal, noise reduction, and digital filtering. The authors concluded that WSN is an effective tool for monitoring vibrations during explosions in an existing tunnel, simplifying the data collection and transmission process and expediting feedback based on monitoring results.

The discussed studies on structural vibration monitoring underscore the importance of developing innovative and cost-effective systems to ensure the safety and durability of infrastructure. Moreover, existing solutions are tailored for complex construction projects such as bridges and metro systems. Autonomous systems, as presented in works [13] and [14], demonstrate the effective use of modern technologies, including 3-axis accelerometers and Ethernet-based data collection models. However, despite technical advancements, the high cost of existing sensors emphasizes the need for more affordable technological solutions. Further steps in this field may involve the development of budget-friendly sensor options and the enhancement of data collection and analysis methods, which could be a crucial factor in the application of monitoring systems for vibration measurement on construction sites.

2.2 Applications

The use of MEMs technology is mentioned in the measurement of vibrations near the Comtur Bridge in Berlin, Germany. At sites in Diamond Valley Lake in California, USA, an automated and integrated monitoring system was utilized. This vibration monitoring system has also been implemented in Armenia [13].

Due to the convenience of data processing, the Data Acquisition System (DAQ) is widely used in monitoring the condition of structures at the Gardens Point Queensland University of Technology (QUT) campuses in Brisbane, Australia. This system, with its high precision data processing, is used not only in construction but also in medicine, for example, in measuring vibrations of various body rhythms [18].

The use of Wireless Sensor Networks (WSN) in construction is not only widely developing but also being modified for specific construction applications. In the work [17], five prototype projects supporting current outdoor and indoor construction practices are presented. The application of WSN is also actively evolving in conjunction with work in Building Information Modeling Technologies [19].

The application of MEMs technology, automated monitoring systems, data acquisition systems, and wireless sensor networks in construction not only enhances monitoring efficiency and accuracy but also fosters innovation and improves processes in the construction industry and beyond, such as in medicine. However, it is essential to study the potential cost implications of

implementing these technologies to ensure their affordability and sustainability in the long run. These technologies open up new possibilities for creating sustainable and safe environments for living and working.

3. Multifunctional solutions for monitoring both noise and vibration

3.1 Review of existing solutions

Researchers [20] conducted noise and vibration monitoring using "The Press-in Piling Method". Measurements were taken at five different sites in Singapore. The Super Crush Piler, employing its vibratory hammer, was used to drive the piles to the planned depth. Vibration monitoring was also conducted during the quieter pile driving process. Devices for noise and vibration measurement, Svantek 917 from the Singaporean company Absolute Instrument Systems (Pte.) Ltd., were selected for monitoring. This class of sound level meter is designed for measuring noise in workplaces and building acoustics. The sound level meter utilizes a microphone that enables linear measurements in the range of 27 to 140 dB. For ease of use, this sound level meter employs specialized mobile applications that support sound level measurements, as well as measurements of Reverberation time (RT60) and Speech Transmission Index for Public Address (STIPA). To evaluate the measured data, researchers created a peak particle velocity (PPV) level graph in relation to the logarithm of the distance from the source (Figure 3).

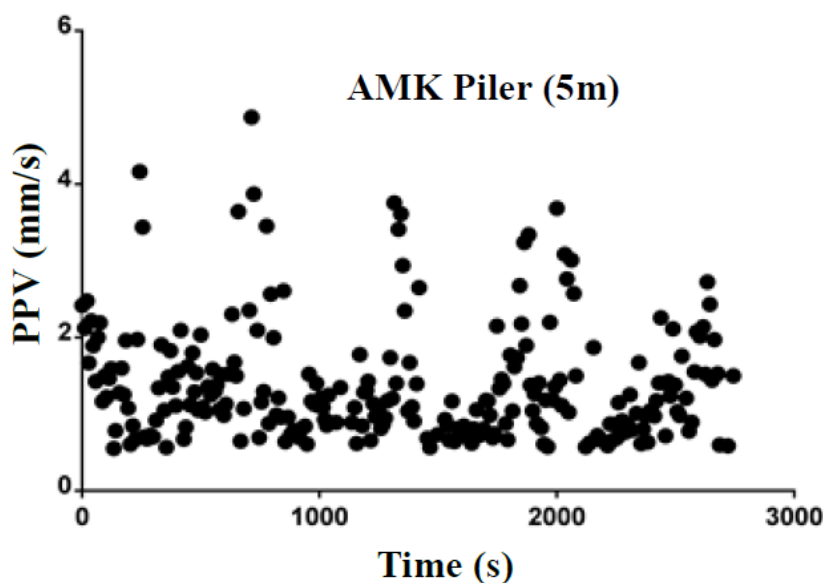
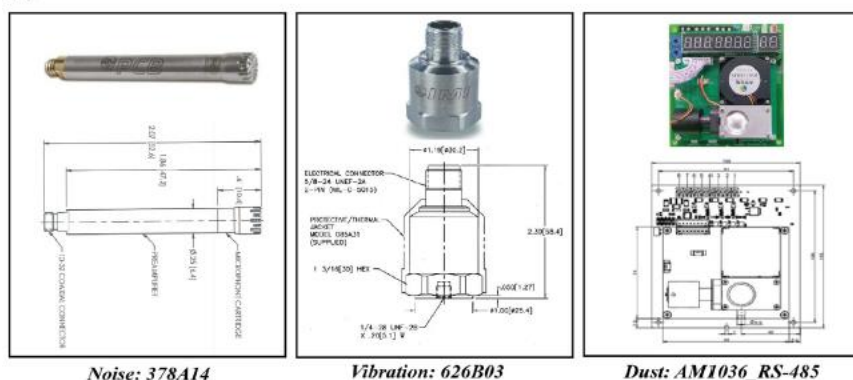


Figure 3 – Peak Particle Velocity (PPV) Level Graph in Relation to the Logarithm of the Distance from the Source

The authors emphasized the need for filtering recorded raw vibration data to obtain accurate measurements. Proper interpretation of the data requires relevant training and experience, as it was evident that the vibro hammer created much higher vibration levels compared to the silent driving at all five sites. Another equipment for noise and vibration measurement is the

MONVID system developed by [21]. In addition to noise and vibration, the system measures dust levels. When developing the MONVID hardware (Figure 4), the following considerations were taken into account. First and foremost, the positioning of measurement sensors was considered (noise and dust sensors: above 1.2 m from the ground; vibration sensor: at ground level). The Central Processing Unit (main device) was designed to be installed on an adjustable-height construction tripod. According to the noise and vibration measurement standards for regulation and control set by the Ministry of Environment of South Korea [22], noise and dust sensors can be installed at a distance of 1.5 m from the soundproof walls of the construction site and 1.2 m from ground level.

(a) Sensors



(b) Hardware device of the MONVID

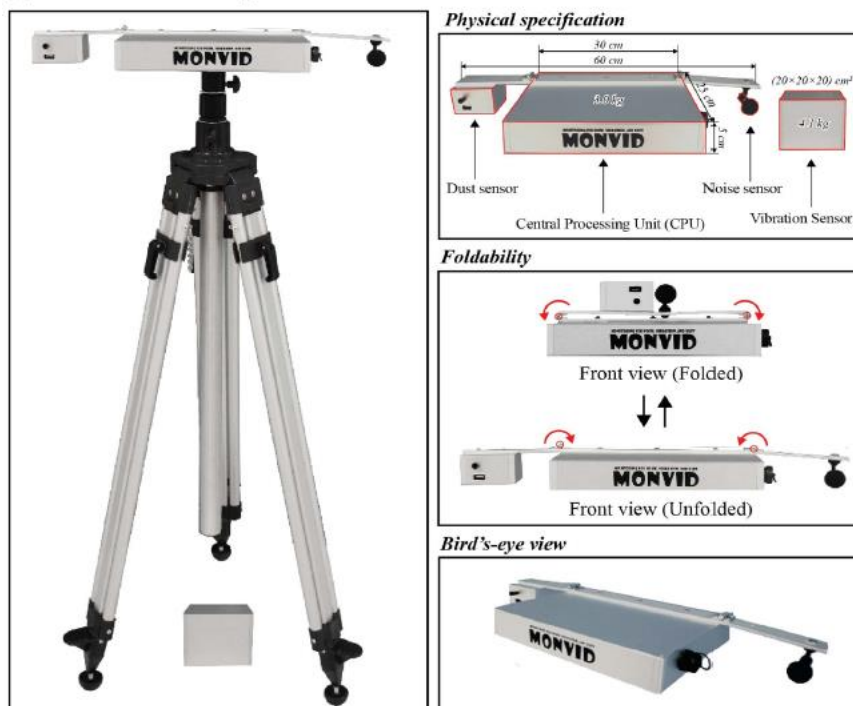


Figure 4 – MONVID Hardware Device Scheme

The cable connecting the vibration sensor to the main device was used to position it at ground level. Additionally, the noise and dust sensors were spaced 60 cm apart to prevent interference from the motor sound generated by the dust sensor in the operation of the noise sensor. The vibration sensor was designed as a cube weighing approximately 4.1 kg with a side length of 20 cm to ensure stability and accuracy. Moreover, the MONVID hardware device design was developed for ease of carrying and storage. In another scientific study [23] the use of the Unity 3D Engine system is proposed for visualizing noise assessment results, aiding site managers in noise management. A distinctive feature of this system, in addition to using noise measurement sensors, is the use of unmanned aerial vehicles (UAVs). In [24] research on the development of a wireless sensor network (WSN) for noise monitoring at construction sites using Bluetooth Low Energy (BLE) is presented. One of the key advantages of BLE is low energy consumption, opening possibilities for integrating energy harvesting technologies. The feasibility of using WSN for the identification and triangulation of noise sources, such as vehicles, is demonstrated.

The authors [25] propose a concept of a system consisting of multiple noise sensors connected to a data collector. The data collector transmits real-time data to a server, where it is analyzed and visualized as heat maps on an interactive map. Researchers employ an inverse problem in which points with known values of sound pressure are considered equivalent to sound source points. Formulas are then applied to determine the sound pressure level at any other point, given its distance from the sound source. The noise sensor concept comprises three main parts: a housing with electronic components, a microphone sensor attached to the top, and a vertical rod with a sharp end, to which all components are attached. The sensor should be lightweight, durable, and easily movable around a construction site.

Thus, the research presented in works on multifunctional noise and vibration monitoring contributes significantly to the field of monitoring the impact of construction activities on the environment. The use of innovative devices, such as the Svantek 917 sound level meter and the MONVID system, provides accurate measurements, considering various factors such as sensor height and an adjustable tripod. The need for data filtering for precise result interpretation is emphasized, along with the importance of training and experience in vibration data processing. An interesting aspect is the diversity of approaches, such as the use of drones in [14] and wireless sensor networks based on Bluetooth Low Energy (BLE) in [15], reflecting the ongoing technological advancements in monitoring on construction sites. However, there is a noticeable need for additional research on the cost and effectiveness of such systems to facilitate their broader implementation in engineering practice. After all, the main goal of such monitoring is to reduce the impact on the environment and the health of people on construction sites [26].

3.2 Applications

The Svantek 917 system is widely utilized for multifunctional measurements, particularly during explosive operations in Poland, where both noise and vibration levels need to be assessed [27]. Additionally, in Singapore and Japan, this system finds extensive application in the construction industry [20].

Researchers [28] emphasize the cost-effectiveness of the MONVID system compared to other analogous solutions, driving its active utilization not only in Korea but also in various countries worldwide. Moreover, updated versions of this product, such as MONVID II, have been released, further enhancing its efficiency.

The widespread application of multifunctional monitoring systems underscores their significance in diverse global contexts. However, challenges related to cost, compatibility, and training requirements highlight the need for continuous advancements and adaptations to meet evolving industry needs. Nonetheless, addressing issues related to infrastructure and data management is essential to enhance their effectiveness and widespread adoption in various regions.

Conclusions

The article presents a comprehensive review of existing solutions for vibroacoustic monitoring of construction sites. It demonstrates a wide range of devices and methods for measuring noise and vibration, each with its strengths and weaknesses. The review also highlights that some solutions can combine noise and vibration monitoring in a single system, potentially enhancing efficiency and measurement accuracy. However, it acknowledges ongoing challenges and limitations in the implementation and application of these solutions, such as high costs, complex data analysis, interference from other sources, and a lack of standardization.

Various approaches to noise and vibration monitoring on construction sites were examined during the review, with an emphasis on identifying their advantages and disadvantages. Three main categories of solutions were identified: noise monitoring, vibration monitoring, and multifunctional monitoring of both parameters.

Noise monitoring solutions involve the use of advanced technologies such as IoT sensor systems, solar panels, wireless networks, and data visualization. Despite these advancements, challenges persist in terms of accuracy, cost, and the effectiveness of such systems, as well as in filtering background noise and considering the unique features of different construction sites.

Vibration monitoring solutions aim to ensure the safety and durability of infrastructure objects such as bridges and subways. Various types of accelerometers, Ethernet-based data collection models, and methods for data synchronization and analysis are applied. However, the high cost of sensors and the complexity of identifying and classifying vibration sources require further research.

Multifunctional solutions for noise and vibration monitoring integrate various approaches and devices, including sound level meters, the MONVID system, drones, and Bluetooth Low Energy (BLE). These solutions offer the opportunity to assess the impact of construction activities on the environment and people's health from various perspectives. However, additional research and testing are needed for a complete assessment of their effectiveness and applicability in practice.

The research results emphasize that vibroacoustic monitoring of construction sites can help identify regulatory violations of noise and vibration. Monitoring key indices can reduce the exceedance of noise and vibration levels by up to 61.7% [29].

To sum up, the review has identified a diversity of solutions for noise and vibration monitoring. However, challenges and issues requiring further research and development persist. Prospects for future research include developing more affordable, accurate, and flexible systems, improving methods for data processing and visualization, and considering the specificity of different types and scales of construction sites.

Acknowledgement

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. AP19674718).

Author contribution: **Yelbek Uteпов** – conceptualization, approving of final version, funding acquisition; **Alisher Imanov** – analysis, writing; Assel Mukhamejanova – interpretation of results, **Aigul Kozhas** – data collection, Sungat Akhazhanov – critical review of content.

References

1. Comparative analysis of building insulation material properties and performance / D. Kumar, M. Alam, P.X.W. Zou, J.G. Sanjayan, R.A. Memon // *Renewable and Sustainable Energy Reviews*. – 2020. – Vol. 131. – P. 110038. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2020.110038>
2. Construction Noise Assessment and Noise Control Practice—Sites Investigation / H. Halim, S.D. Moen, M. Hustim, O.B. Dapo // *Proceedings of AWAM International Conference on Civil Engineering 2022—Volume 1: Vol. 384: Lecture Notes in Civil Engineering*. — Singapore: Springer Nature Singapore, 2024. – P. 483-498. https://doi.org/10.1007/978-981-99-6022-4_31
3. Noise pollution and health // *D. Petric International Journal of Speech and Audiology 2022*; 3(1): 08-10.
4. A Study on the Improvement Plan of Construction Noise Monitoring / Y.-M. Park, K.-M. Kim // *Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering*. – 2013. – Vol. 23, No. 12. – P. 1056–1065. <https://doi.org/10.5050/KSNVE.2013.23.12.1056>
5. Urban development and construction noise: A study in metropolitan Kuwait / P. Koushki, N. Kartam, N. Al-Mutairi // *Kuwait journal of science & engineering*. – 2003. – Vol. 30.
6. Wireless Noise and Vibration Management System for Construction Sites / K. Veggeberg // *Structural Dynamics, Volume 3: Conference Proceedings of the Society for Experimental Mechanics Series*. — New York, NY: Springer New York, 2011. – P. 1553–1557. https://doi.org/10.1007/978-1-4419-9834-7_139
7. The Construction Site Ambient Noise Monitoring System with Internet of Things (IoT) / N. Arbaiya, S.A. Sapuana, M.S.C. Laha, M.H.H. Othmana, P.-C. Linb
8. Wireless Sensor Networks for Noise Measurement and Acoustic Event Recognitions in Urban Environments / L. Luo, H. Qin, X. Song, M. Wang, H. Qiu, Z. Zhou // *Sensors*. – 2020. – Vol. 20, No. 7. – P. 2093. <https://doi.org/10.3390/s20072093>
9. Sound level meters--the Atlantic divide / P.V. Bruel // *Noise Control Engineering Journal*. – 1983. – Vol. 20, No. 2. – C. 64–75.
10. Use of a digital voltmeter to measure the output of a sound level meter / L. Bean // *Applied Acoustics*. — 1980. — Vol. 13, No. 2. — C. 151–157.

11. Distributed wireless environmental noise monitoring systems / K. Veggeberg // Proceedings of the Acoustics 2012 Nantes Conference — Nantes, France, 2012 — P. 2091–2095. <https://hal.science/hal-00810589>
12. Internet of things in construction industry revolution 4.0: Recent trends and challenges in the Malaysian context / Y. Gamil, M. A. Abdullah, I. Abd Rahman, M.M. Asad // Journal of Engineering, Design and Technology. — 2020. — Vol. 18, No. 5. — C. 1091–1102.
13. Vibration monitoring of bridges / F. Neitzel, B. Resnik, S. Weisbrich, A. Friedrich // Reports on Geodesy. — 2011. — Vol. z. 1/90. — P. 331–340.
14. Development of a cost-effective and flexible vibration DAQ system for long-term continuous structural health monitoring / T. Nguyen, T.H.T. Chan, D.P. Thambiratnam, L. King // Mechanical Systems and Signal Processing. — 2015. — Vol. 64–65. — P. 313–324. <https://doi.org/10.1016/j.ymsp.2015.04.003>
15. Developing IoT Sensing System for Construction-Induced Vibration Monitoring and Impact Assessment / Q. Meng, S. Zhu // Sensors. — 2020. — Vol. 20, No. 21. — P. 6120. <https://doi.org/10.3390/s20216120>
16. On-site measurement and environmental impact of vibration caused by construction of double-shield TBM tunnel in urban subway / Z. Wang, Y. Jiang, X. Shao, C. Liu // Scientific Reports. — 2023. — Vol. 13, No. 1. — P. 17689. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-45089-0>
17. Blasting Vibration Monitoring of Undercrossing Railway Tunnel Using Wireless Sensor Network / J. Lai, H. Fan, J. Chen, J. Qiu, K. Wang // International Journal of Distributed Sensor Networks. — 2015. — Vol. 11, No. 6. — P. 703980. <https://doi.org/10.1155/2015/703980>
18. Advances in the construction of ECG wearable sensor technology: The ECG-ITM-05 ehealth data acquisition system / J.A.G. Gnechi, A. de J.V. Herrejón, A. del C.T. Anguiano, A.M. Patiño, D.L. Espinoza // IEEE, 2012. — C. 338–342.
19. A Real-Time Construction Safety Monitoring System for Hazardous Gas Integrating Wireless Sensor Network and Building Information Modeling Technologies / W.-F. Cheung, T.-H. Lin, Y.-C. Lin // Sensors. — 2018. — Vol. 18, No. 2. — P. 436. <https://doi.org/10.3390/s18020436>
20. Noise and Vibration Monitoring for Silent Piling in Singapore / C. Fai LEUNG, T. Lim GOH — 2018. https://doi.org/10.50876/icpe.1.0_579
21. Development of a real-time automated monitoring system for managing the hazardous environmental pollutants at the construction site / H. Kang, S. Sung, J. Hong, S. Jung, T. Hong, H.S. Park, D.-E. Lee // Journal of Hazardous Materials. — 2021. — Vol. 402. — P. 123483. <https://doi.org/10.1016/j.jhazmat.2020.123483>
22. Noise and Vibration Control Act, Law 11690 / Ministry of Environment — 2013.
23. Development of a real-time noise estimation model for construction sites / G. Lee, S. Moon, J. Hwang, S. Chi // Advanced Engineering Informatics. — 2023. — Vol. 58. — P. 102133. <https://doi.org/10.1016/j.aei.2023.102133>
24. Development of Wireless Sensor Network using Bluetooth Low Energy (BLE) for Construction Noise Monitoring / J. Hughes, J. Yan, K. Soga // International Journal on Smart Sensing and Intelligent Systems. — 2015. — Vol. 8, No. 2. — P. 1379–1405. <https://doi.org/10.21307/ijssis-2017-811>
25. Conceptual model of noise monitoring system for construction projects in cramped conditions, based on sensors and GIS / Y. Utepov, A. Imanov // Technobius. — 2022. — Vol. 2, No. 3. — C. 0025. <https://doi.org/10.54355/tbus/2.3.2022.0025>

26. A Framework for Reducing Dust Emissions and Energy Consumption on Construction Sites. / J. Hong, T. Hong, H. Kang, M. Lee // Energy Procedia. — 2019. — Vol. 158. — P. 5092–5096. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.01.637>

27. Vibroacoustic measurements and analysis of blasting works / J. Pyra, M. Kłaczyński // Journal of Vibroengineering. — 2019. — Vol. 21, No. 2. — P. 526–537. <https://doi.org/10.21595/jve.2019.20053>

28. Advanced real-time pollutant monitoring systems for automatic environmental management of construction projects focusing on field applicability / T. Hong, S. Sung, H. Kang, J. Hong, H. Kim, D.-E. Lee // Journal of Management in Engineering. — 2022. — Vol. 38, No. 1. — C. 04021075.

29. An empirical analysis of environmental pollutants on building construction sites for determining the real-time monitoring indices / J. Hong, H. Kang, S. Jung, S. Sung, T. Hong, H.S. Park, D.-E. Lee // Building and Environment. — 2020. — Vol. 170. — P. 106636. <https://doi.org/10.1016/j.buildenv.2019.106636>

Құрылыс алаңдарын виброакустикалық бақылау бойынша қолданыстағы шешімдерді қарастыру

Е.Б. Утепов¹, А.Ж. Иманов^{1*}, А.Т. Мухамеджанова¹, А.К. Қожас¹, С.Б. Ахажанов²

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

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

Андатпа. Мақалада құрылыс алаңдарында пайда болатын шу мен дірілді бақылауға мүмкіндік беретін әртүрлі шешімдерді қолдану мүмкіндігі ашылады. Шу мен дірілді бақылау жүйелерімен тәжірибелік зерттеулер мен тәжірибені білдіретін 20-дан астам ғылыми мақалалар қарастырылды. Мақалалар ғылыми-метрикалық деректер базасы арқылы индекстелген жетекші журналдардан жиналды. Қаралған мақалалар бірнеше санатқа бөлінді: шуды, дірілді бақылау шешімдері және біріктірілген шешімдер. Акустикалық мониторинг саласындағы шешімдерді шолу маңызды тенденцияларды және одан әрі зерттеулердің перспективаларын анықтады. Фондық шуды сүзудің және әртүрлі құрылыс алаңдарының сипаттамаларын ескере отырып, дәлірек әдістерді әзірлеу қажеттілігі анықталды. Діріл мониторингінің шешімдерін шолу олардың өнімділігін дәл бағалау үшін діріл көздерін анықтау және жіктеу мәселесін тереңірек зерттеу қажеттілігін көрсетті. Күрделі шешімдер мен жүйелерді шолу олардың тиімділігі мен практикада қолданылуын толық бағалау үшін қосымша зерттеулер мен сынақтар қажет екенін көрсетті. Мұндай жүйелерді сәтті енгізу үшін олардың икемділігіне және әртүрлі типтегі және өлшемдегі құрылыс алаңдарында орнату мүмкіндігіне назар аудару керек. Сонымен қатар, персоналды жабдықты тиімді пайдалануға немесе олардың виброакустикалық кешендерді пайдалану қабілетіне сәйкестігіне оқытуға назар аударған жөн.

Түйін сөздер: шу, діріл, бақылау, тар қала аудандары, сенсорлар.

Обзор существующих решений по виброакустическому мониторингу строительных площадок

Е.Б. Утепов¹, А.Ж. Иманов^{1*}, А.Т. Мухамеджанова¹, А.К. Кожас¹, С.Б. Ахажанов²

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

²Карагандинский университет им. Е.А. Букетова, Караганда, Казахстан

Аннотация. В статье раскрыт потенциал применения различных решений, позволяющих в той или иной мере производить мониторинг шума и вибрации, возникающих на строительных площадках. Рассмотрены более 20 научных статей, представляющих экспериментальные исследования и опыт работы с системами мониторинга шума и вибрации. Статьи были собраны из ведущих журналов, индексируемых наукометрическими базами. Рассматриваемые статьи были разделены на несколько категорий: по решениям для мониторинга шума, вибрации, комплексные решения. По результату обзора решений в области акустического мониторинга выявлены важные тенденции и перспективы для дальнейших исследований. Обнаружена необходимость разработки более точных методов фильтрации фонового шума и учета особенностей различных строительных площадок. По результату обзора решений по вибрационному мониторингу выявлено, что существует потребность в более глубоком исследовании проблемы идентификации и классификации источников вибрации для точной оценки их показателей. Обзор комплексных решений и систем показал, что для полной оценки их эффективности и применимости в практике требуются дополнительные исследования и тестирование. Для успешного внедрения таких систем необходимо уделять внимание их гибкости и возможности устанавливать на строительных площадках различных видов и масштабов. Более того, стоит обратить внимание на обучение персонала для эффективного использования оборудования либо соответствие их квалификации на способность использования виброакустических комплексов.

Ключевые слова: шум, вибрация, мониторинг, стесненная городская застройка, сенсоры.

Information about authors

Yelbek Uteпов – PhD, Full Professor, Professor of the Department of Civil Engineering, Faculty of Architecture and Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, utepov-elbek@mail.ru

Alisher Imanov – PhD Student of the Department of Civil Engineering, Faculty of Architecture and Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, glad.alisher@gmail.com

Assel Mukhamejanova – PhD, Senior Lecturer of the Department of Civil Engineering, Faculty of Architecture and Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, assel.84@list.ru

Aigul Kozhas – Candidate of Technical Sciences, Senior Lecturer of the Department of Technology of Industrial and Civil Engineering, Faculty of Architecture and Construction, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, kozhas@bk.ru

Sungat Akhazhanov – PhD, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Algebra, Mathematical Logic and Geometry named after T.G. Mustafin, Faculty of Mathematics and Information Technology, Karaganda Buketov University, Karaganda, Kazakhstan, stjg@mail.ru

Информация об авторах

Утепов Елбек Бахитович – PhD, профессор, кафедра «Строительство», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, uterov-elbek@mail.ru

Иманов Алишер Жанзакович – докторант кафедры «Строительство», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, glad.alisher@gmail.com

Мухамеджанова Асель Төлеубековна – PhD, старший преподаватель кафедры «Строительство», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, assel.84@list.ru

Қожас Айгуль Кенжебековна – кандидат технических наук, старший преподаватель кафедры «Технология промышленного и гражданского строительства», архитектурно-строительный факультет, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, kozhas@bk.ru

Сунгат Ахажанов – PhD, ассоциированный профессор (доцент), кафедра алгебры, математической логики и геометрии имени Т.Г. Мустафина, факультет математики и информационных технологий, Карагандинский университет им. Е.Букетова, Караганда, Казахстан, stjg@mail.ru

Авторлар туралы ақпарат

Утепов Елбек Бахитович – PhD, профессор, «Құрылыс» кафедрасының профессоры, Сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан, uterov-elbek@mail.ru

Иманов Алишер Жанзакович – «Құрылыс» кафедрасының докторанты, Сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, glad.alisher@gmail.com

Мұхамеджанова Әсел Төлеубекқызы – PhD, «Құрылыс» кафедрасының аға оқытушысы, Сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана, Қазақстан, assel.84@list.ru

Қожас Айгүл Кенжебекқызы – техника ғылымдарының кандидаты, «Өнеркәсіптік және азаматтық құрылыс технологиясы» кафедрасының аға оқытушысы, Сәулет-құрылыс факультеті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық Университеті, Астана, Қазақстан, kozhas@bk.ru

Сунгат Ахажанов – PhD, Қауымдастырылған профессор (доцент), Т.Г. Мұстафин атындағы Алгебра, математикалық логика және геометрия кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Математика және ақпараттық технологиялар факультеті, Қарағанды Бөкетов университеті, Қарағанды, Қазақстан, stjg@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/>).



XҒТАР 81.14.10

Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-77-86>

Қожа Ахмет Ясауи кесенесіндегі геометриялық өрнектер

А.К. Байдабеков^{ID}, Э.А. Кемельбекова^{*ID}

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

(E-mail: e.kemelbekova@mail.ru)

Аңдатпа. Мақалада геометриялық өрнектерді пайдалану ислам өнерінің ерекше ерекшеліктерінің бірі ретінде қарастырылды. Ислам математиктерінің, астрономдарының және ғалымдарының айтарлықтай интеллектуалдық үлесі осы бірегей жаңа стильді жасау үшін қажет болды. Орта ғасырда сәулет өнерінің оның гүлдену кезеңі тепе – теңдік ілімі-үйлесімділік ілімі болды. Сондықтан геометриялық статика геометриялық үйлесімділік ілімінің бір бөлігіне айналады. Міне осыдан бастап құрылымның сәулеттік-кеңістіктік пішімі мен оның құрылымын үйлестіру әдісінің бірлігі көрінеді. Осы кезден сәулет өнерінің негізі деп геометриялық әдістер ортағасырлық Шығыс сәулетінің қалыптасуы мен дамуында үлкен маңызға ие болған сәулет өнерінің жетекші идеялар жүйесіне айналды. Математикалық ғылымдардың жаңа жіктелуіне байланысты тұжырымдалған тәжірибені жалпылау ретінде қалыптасқан ортағасырлық Шығыстың сәулетшілерінің, өрнек пен геометриялық өрнектермен айналысқан суретшілерінің еңбектері көптеген ұрпақтардың дүниетанымының бағытына шешуші әсер етті. Сонымен қатар тәжірибенің өзінен, құрылыс-көркемөнер өндірісінің тәжірибесінен теория негіздер туындай отырып, геометриялық өрнектерді қолдану ауқымы кеңейе бастады. Сонымен қатар ғимараттың кеңістіктік құрылымы, сәулеттік құрылымдардың тепе-теңдігі, тұтастай алғанда құрылымның тұрақтылығы мен беріктігі, геометриялық өрнек сияқты геометриялық теориясы мен тәжірибелік мәселелерін қамтыды. Осындай геометриялық өрнек пен сәулеттік құрылымдардың тепе-теңдігін сақтай отырып, Ортағасырлық Қожа Ахмет Ясауи кесенесі болды. Бұл ғимарат Әмір Темірдің мемлекетінің Исламды насихаттау мен тарату, идеологиялық және саяси сипаты болды. Қожа Ахмет Ясауи кесенесі өзінің ауқымдылығымен, дизайнның ұлылығымен ерекшелене отырып, кешеннің дегенмен көлемдік-кеңістіктік түсіндірмесі қарапайым. Сонымен бірге Қожа Ахмет Ясауи кесенесінің сыртқы көрінісіндегі, қасбеттеріндегі геометриялық өрнектер осы теория негізінде салынғанын және басқа да геометриялық заңдылықтарын зерттеу мәселесі қарастырылған.

Түйін сөздер: Қожа Ахмет Ясауи кесенесі, әл-Фараби, Әмір Темір, шеңберлерді тең бөліктерге бөлу, геометриялық өрнектер, қасбеттер.

Түсті 10.01.2024 Жөнделді 09.06.2024 Мақұлданды 20.06.2024 Онлайн қолжетімді 30.06.2024

* хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Ғимараттарда, оның ішінде діни қоғамдық мешіттер мен кесенелердің қасбетерінде геометриялық өрнектерді пайдалану Араб халифатында ислам өнерінің ерекшеліктерінің бірі болды. Ислам елдерінде өмір сүрген ғалымдарының айтарлықтай интеллектуалдық үлесі осы бірегей жаңа стильді жасау үшін еңбек етті. Орта Азия сәулетінің қалыптасуы мен дамуында үлкен маңызға ие болған сәулет өнерінің жетекші идеялар жүйесіне айналды [10]. Сонымен қатар тәжірибенің өзінен, құрылыс-көркемөнер өндірісінің тәжірибесінен теория негіздер пайда болды. Ғимараттың кеңістіктік құрылымы, сәулеттік құрылымдардың тепе-теңдігі, тұтастай алғанда құрылымның тұрақтылығы мен беріктігі, геометриялық ою-өрнек сияқты геометриялық теориясы мен тәжірибелік мәселелерін қамтыған. Ортағасырлық ғалымдардың ғылыми жұмыстары мен зерттеуі, олар өз заманының сәулеттік өнерге негіз болған геометриялық техниканың объективі ретінде қарай отырып, геометриялық өрнектерді математиканың қолдану ауқымы кең болды. Ал белгілі әл-Фараби бабамыз көптеген тәжірибелік өнерді және соның ішінде сәулет өнерін бағалай білді. Осы орайда әл-Фараби былай деп жазады: «Сонымен қатар көптеген шеберлер геометриялық әдістерді, олардың ішінде құрылысты басқару, жобаларды орындау, сәулет құрылыстарын жасау өнері бар» [1, 2]. Тағы бір трактатында әл-Фараби шебердің геометриялық негізі білім екенін, оны меңгеруді геометриялық әдістерден бастау керек деп жазады. Сонымен қатар әл-Фараби тәжірибелік өнердің негізін білдіретінін геометриялық әдістерден және олар денелерге, фигураларға, тәртіпке, ұстанымға және ниетке қатысты екенін ерекше атап көрсетеді.

Ортағасырда осындай тәжірибелерді және теорияны негізге ала отырып, билеуші Әмір Темірдің бұйрығымен Орта Азияда сүфизм бағыттын таратушы Қожа Ахмет Ясауи кесенесі жаңарту мақсатында XIV ғасыр аяғында салынған Орта ғасырдағы зәулім сәулет нысанасының геометриялық тұрғыда зертеу. Бұл салынған ғимарат қазіргі заманға сай салынған сәулет өнерінің таңғажайып көп функционалды және Орта Азиядағы кірпіштен салынған үлкен кешен. Ғимаратты салу кезінде сол заманның алдыңғы заманауи құрылыс технологияларынан бөлек тың сәулет өнеріне жаңа әдістерін пайдалануға үлкен үлес қосты. Одан бөлек ол ғимараттың басты өлшемдері мен безендіруіне аса үлкен көңіл бөлген. Оларға мысал ретінде әртүрлі құйма майшамдары мен қазандарға, шырағандар мен алтын-күміс жалатылған ағаш оюмен әрленген үлкенді-кішілі есіктер, сонымен бірге ғимараттың қасбеттері мен сыртқы жағындағы оюлар мен жазулар, түрлі түсті бояулармен боялған керамикалық жапсырма кірпіштер болады. Сонымен қатар, ғимараттың кейбір есіктерін мен сәулет бөлшектерінде дәстүрлі қазақ ою-өрнектерінің элементері де кездеседі [3]. Әмір Темір бұл ғимаратты салуда өзінен бұрынғы Қараханидтер дәуіріндегі сәулет құрылыс өнерінің сол кезде қалыптасқан кейбір ерекшеліктерін қолданған. Мақалада сонымен бірге Қожа Ахмет Ясауи кесенесінің сыртқы көрінісіндегі, қасбеттеріндегі геометриялық өрнектердің геометриялық заңдылықтарын зерттеу мәселесі қарастырылған.

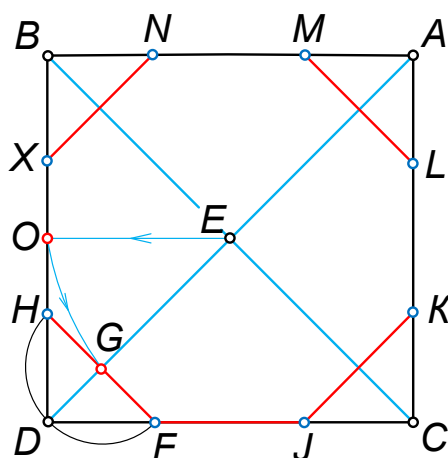
Өзбекстанның ғалымы М.С. Булатовтың [5] (1907-2004) ескі жобаларды зерттеу жұмыстарының нәтижесінде жасаған теориялық есептері арасында негізгі екі

ережелеріне толық сәйкестік бар. Біріншіден, $1:\sqrt{2}$, $1:\sqrt{3}$, $1:\sqrt{5}$ иррационал қатынастарды теориялық есептеу және координаттардың сәулелік торына салынған тіктөртбұрыштар арасындағы дәл сәйкестік жазбалары. Екіншіден, сызбаларды табиғатқа аудару әдісінің өзі бір уақытта әрекет ететін пропорционалдылықтың әртүрлі түрлеріне негізделген. Бұдан басқа Н. Бакланов [4], Г. Гаганов [6] және Л. Ремпель [7] жүргізген Орталық Азияның сәулеттік өрнектеріне жасалған талдаулар ғылыми жаңалыққа айналды. Олар қолданбалы математиканың жетістігімен байланысты Орталық Азияның сәулеттік өрнектерін салу теориясының мәселесін қойып, ішінара шешті. Зерттеушілердің бір бөлігі ою-өрнек шеберлерінің математикалық білімін төмендетсе, екіншілері, атап айтқанда Н.Банданов, керісінше, олардың жоғары білімін мойындады [8].

Геометриялық өрнектерге геометриялық әдістерін пайдалануы

Орта ғасырлардағы математикалық әдістерді ғимаратты салушы шеберлер мен сәулетшілер сәулет өнерінің негізі екенін мойындап, ортағасырда салынған жобаларды сызу кезінде және құрылысты салу кезінде пайдаланды. Белгілі Абу-Наср Мұхаммед бен Тарчан бен-Аусалаг әл-Фараби (870-950) «Математикалық трактаттында» [10, 14] циркуль мен түзудің көмегімен қарапайым геометриялық конструкцияларды, параболаны салудың екі тәсілі, кубты екі еселеу есептерін шешу, сонымен қатар бұрыштың трисекциясы берілген. Әл-Фарабидің алтыншы кітабы толықтай квадратты зерттеуге арналған. Бұдан бөлек кітаптағы квадратты ішінде теңбүйірлі сегізбұрышты салыну жолы қарастырылған (сурет 1).

Әл-Фараби алдымен ABCD квадратын алып, квадраттың диагональ сызықтарын жүргізген. Осы диагональдарды өзара қиылыстырып, E нүктесін алған. E нүктесінен AD диагональ бойына квадраттың бүйірінің тең жартысын өлшеп салып G нүктесін анықтап алған. Осы G нүктесінен квадраттың диагональдарына перпендикуляр сызықтар жүргіземіз. Бұл сызықтар ABCD квадратының бүйірлерімен қиылысып HF, XN, ML және KJ нүктелерін береді. Берілген ABCD квадратын бұл табылған нүктелер теңбүйірлі сегізбұрышқа бөледі (сурет 1).



Сурет 1. Әл-Фарабидің квадратты теңбүйірлі сегізбұрышқа бөлуі

Әл-Фарабидің пікірінше, геометрия ғылымы барлық ғылымдар мен өнерге енеді. Осында математикалық ғылымдардың әрекетінің нәтижесінде геометрияны сәулеттік пішімдер тұрғызу үшін қолдану, сәулеттегі геометриялық өрнектердің техникасы, геометриялық үйлесімділік туралы ғылымды тудырады.

Айтылған әдістердің мәні бұл геометриялық және арифметикалық ортақ әрекет ететіндігінде. Гректердің өнердегі дене мүшелерінің қатынасының қалпақшалары қандай болса, геометриялық көлемді, массаны, артикуляцияны дәл осылай анықтады; арифметикалық – құрылыс жұмыстары барысында қажетті көрсеткіштер тіліне аударылған модульдік геометриялық пропорционалдылықты жалпы принцип ретінде модельде көрсетілген жұмыс сызбаларын қажет ететін құрылысшының тіліне аударды. Бұл өлшем «гиза» модулі болды, яғни кірпіш, өйткені барлық шарттарда ол кірпіштердің бүтін санын қамтуы керек, ол модульдердің рөлін жоғалтты. Модульдік тор осы құрылым үшін қабылданған кірпіш стандартына сәйкес келді. Қабаттар тұрақты болмағандықтан арифметикалық есеп пен модульдік тордың бұзылуы орын алды. Жұмыс барысында бұл бұзушылықтар арқандар, бағаналар және сызғыштардың көмегімен, яғни геометриялық жолмен түзетілді. Осыдан сәйкессіздіктер, қателер және геометриялық немесе модульдік немесе арифметикалық қатынастарды оғаш пайдалану идеясы туындайды.

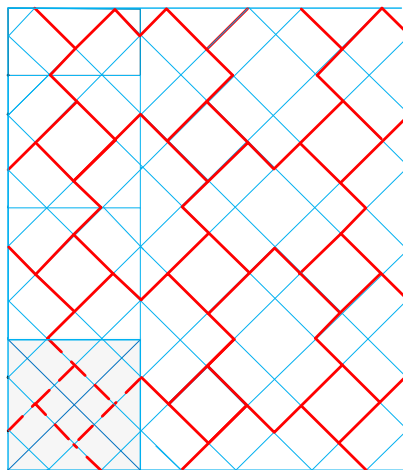
Ғимараттың қасбетіндегі геометриялық өрнектер

Билеуші Әмір Темір өз мемлекетінің идеологиялық саясатын артыру мақсатында және Исламды насихаттаушы әрі, таратушы Қожа Ахмат Ясауидың ескірген кесенісін жаңарту мақсатында жаңа кешен салдырды. Қожа Ахмад Ясауи кешені өзінің ауқымдылығымен, дизайнның ұлылығымен ерекшеленеді, дегенмен кешеннің көлемдік-кеңістіктік түсіндірмесі қарапайым болды. Сондықтан бұл ғимарат ұзартылған параллелепипед пен оның бойлық осі бойымен екі портал мен екі күмбез көтерілген [9].

Қожа Ахмет Ясауи кесенесінің қасбеті шеңберлерді, шаршыларды және көпбұрыштарды пайдалану сияқты киелі геометрияға негізделген ойлы геометриялық өрнектермен безендірілген. Өрнектер көбінесе орталық мотивке негізделген, ол одан кейін ірі және күрделі өрнектер жасау үшін қайталанатын және кеңейеді. Бұл зәулім ғимараттың қасбеттері геометриялық көз қараспен қарап зертеп көрелік. Ол үшін, алдымен ғимараттың алдынан қараған көрінісі қарастырайық. Ғимаратты оңтүстік шығысқа қарап салыңған. Ертеде қазақтар өздері тұрған киіз үйлерін осылайша оңтүстік шығысқа қарап тіккен. Ғимараттың Бас қасбет негізгі бас портал мен екі мұнаралардан, кіреберіс үш есіктен және үлкен кіреберіс аркадан тұрады. Бұл ғимараттың сол заманда зәулім әрі құдіретті екенін көрсетеді.

Ғимараттың бүйір қасбеттерінде көптеген ойлы геометриялық кіріструлер мен геометриялық өрнектер арқылы безендірілген. Кесененің бүйір қасбетінде күрделі геометриялық өрнектер жасау үшін пайдаланылатын бірқатар жұлдыздар мен көпбұрыштар бар. Бұл өрнектер көбінесе орталық мотивке негізделген, ол кейін қайталанатын және неғұрлым ірі өрнектер жасау үшін кеңейеді [11]. Ғимараттың батыс және шығыс бүйір қасбеттері түрлі-түсті күйдірілген әшекейлі кірпіштермен безендірілген. Көгілдір тақталармен өрілген геометриялық өрнектер (гирих) өте айқын, бояудың үйлесі айнала қоршаған нәзік сызықтар шашыратпай тұтас бір композицияны үйлестіреді.

Оң жақтағы бүйір қасбет солтүстік шығысқа қарай бағытталған. Бұл бүйір қасбет төртбұрыштан тұрады. Осы геометриялық элементтердің ішіне ашық көк кірпіштен «куфа» қаріпімен өріліп жазылған «Алла», «Мұхаммед», «О, жарылқаушы», «Билік Аллада», «Алла менің әміршім» деген сөздер бар [13]. Осы дәуірдің басқа геометриялық өрнектерімен салыстыра отырып, осы герихтің құрылу заңдылықтарын қарастыру оның квадрат пен теңбүйірлі үшбұрыштың туындыларына салынған деген болжам жасауға мүмкіндік береді, алайда мұнда теңбүйірлі үшбұрыштың жағы квадрат жағы, ал квадратқа жазылған сегізбұрыштың жағы. Квадраттың салыну жолы өте қарапайым. Ол үшін алдымен ABCD бастапқы квадраты саламыз. Квадраттың, яғни төртбұрыштың AC және BD төбелерін қосып, квадраттың диагоналарын жүргізіп, E нүктесін анықтап аламыз. Осы E нүктесі мен квадраттың бүйір қабырғасының жартысы O нүктесінен радиусы R болатын доға жүргізіп, диагональмен қиылысқан жерінен G нүктесін табамыз. D нүктесінен ортасы G нүктесі болатын шеңбер доғасын жүргізіп, квадраттың жақтарын H және F нүктелерінде қиып өтеді. Осы екі нүкте ара қашықтығы квадратты сегіз бөлікке бөліп XN, ML және KJ нүктелерін (кесінділерін) табамыз (сурет 1) [2]. Осы нүктелерді өзара қосатын болсақ, онда квадраттың диагоналына параллель болатын төрт сызық табамыз. Бұл сызықтар квадраттың бүйірлеріне 45о градус болатын төрт сызықтарды тауып аламыз. Бұл сызықтар бүйір қасбеттің модулін береді (сурет 2).

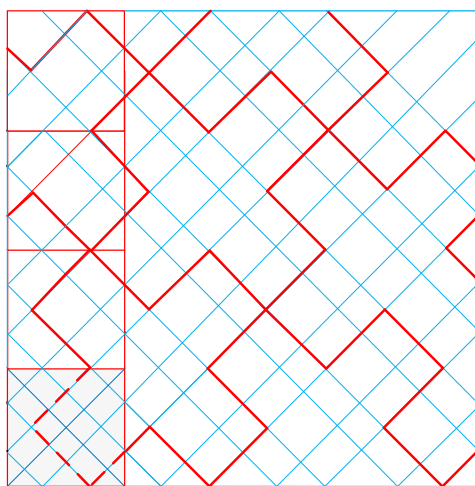


Сурет 2. Ғимараттың бүйір қасбетінің сызба

Бұл сызылған геометриялық модельді пайдаланып бүйір қасбеттегі мозайканың негізін саламыз. Ол үшін бүйір қасбетті квадраттарға бөліп аламыз. Осылайша осы геометриялық модельдегі кіші квадратты өзара жинайтын болсақ, онда оң жақ бүйірдегі қасбеттің мозайка негізі пайда болады. Симметрия ислам өнерінің маңызды аспектісі болып табылады және дизайндағы теңгерім мен үйлесім жасау үшін жиі қолданылады. Кесененің бүйір қасбетінде геометриялық өрнектер симметриялы, орталық осьтің екі жағында қайталанатын өрнектері мен пішіндері бірдей.

Ғимараттың сол жақ бүйір қасбеті оңтүстік батысқа қарай орналасып тұр. Бұл оң жақтағы бүйір қасбет сияқты төрт бұрыштан тұрады (сурет 3). Сол жақ бүйір қабырғада

қара көк кірпіштен өрілген көлбеу орналасқан он екі қырлы крест тәріздес геометриялық элементтен екі қатарлы болып келеді. Егер бұл кресттің контуранын сызық ретінде қарайтын болсақ, онда крест тәрізді көпбұрыштың қырлары свастиканы береді. Ал осы геометриялық элементінің ішіне ашық көк кірпіштен куфа қаріпімен өріліп «Алла», «Мұхаммед», «О, жарылқаушы», «Билік Аллада», «Алла менің әміршім» деген сөздер жазылған (сурет 3).



Сурет 3. Сол жақтағы қасбеттегі мозайка

Жоғарыдағы көрсеткен геометриялық модельді пайдаланып, сол жақтағы бүйір қасбеттің мазаикасын салып көрелік. Ол үшін алдымен ABCD квадратының AC бүйірінде орналасқан G нүктесі мен квадратың DC E нүктесін қосамыз. Әрі қарай осы E нүктесін кіші квадраттың FH бүйірімен қосамыз. Кіші квадраттың FH бүйірінің H төбесі мен HJ бүйірін және үлкен квадраттың AB бүйіріндегі G нүктесі қосамыз. Табылған жарты квадратты AB бүйіріне симетрия жасап екінші квадратты алуға болады. Жарық пен көлеңкені пайдалану Қожа Ахмет Ясауи кесенесінің бүйір қасбетіндегі ойлы геометриялық өрнектер күн бойы өзгеретін жарық пен көлеңке ойынын жасайды. Бұл әсер дизайнға жалпы сұлулық пен күрделілікті қосады және статикалық қасбетте қозғалыс пен динамизм сезімін тудырады.

Қорытынды

Ұлы энциклопедист, ғұлама ғалым Әл-Фараби сәулет өнерінің негізі деп жариялаған шеберлік геометриялық әдістері Шығыс сәулет өнерінің қалыптасуы мен дамуында үлкен мән бере отырып, сәулет өнерінің жетекші идеяларының жүйесіне айналды. Ғимараттардың пропорцияларының бір немесе басқа модульмен сәйкес келуі, бұл дәуірдің кеңістіктік сәулеттік пішімдерін үйлестіруде геометрикалық әдістерге жатады. Сондықтан бұл дәуірде сәулетшілердің теориясы мен тәжірибесінде геометриялық тұжырымдама жеңіске жетті десе болады. Бұл бірқатар сәулет ескерткіштері мен дәуірдің энциклопедиялық ғалымдарының теориялық трактаттарының пропорционалдығын қарастырғанда көрінеді.

Сонымен бірге Қожа Ахмет Ясауи кесенесін салған ұсталар ғимараттың көзге түсетін өлшемдерді геометриялық фигураларға негізделіп салған. Ал бүйір қабырғаларында сегізбұрыштар мен онекі бұрыштар және ромбылар геометриялық модель Ортағасырда өмір сүрген математиктердің квадратты әртүрлі әдістермен көпбұрыштарға бөлу жолдары пайдаланып салынғаны анықталды және оларды салу жолы көрсетілді. Геометриялық фигуралды салуда өте дәлдікпен кірпіштерді горизонталь және вертикаль қалау арқасында салған.

Авторлардың қосқан үлесі:

А.К. Байдабеков – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар, жазу, қаржыландыру.

Э.А. Кемельбекова – мәліметтер жинау, тестілеу, қаржыландыру.

Әдебиеттер тізімі

1. Абу Наср аль-Фараби. О классификации наук: монография. Перевод и комментарии Ж. Сандыбаева. –Алматы: 2020. -61 с.
2. аль-Фараби. Математические трактаты. –Алма-Ата: Наука. 1972. - 316 с.
3. Абуов А.П. Мировоззрение Ходжи Ахмета Ясави и его место в истории казахской философии: автореферат дисс. д-ра философ. наук. - Алматы: -1997. -53 с.
4. Бакланов Н.Б. Геометрический орнамент Средней Азии и методы его построения. –М.: 1947. С. 101-120.
5. Булатов М.С. Геометрическая гармонизация в архитектуре Средней Азии IX-XV вв.: -М.: Наука. -1978. -380 с.
6. Гаганов Г.И. Геометрический орнамент Средней Азии /Архиное наследство. –М.: 1958. Сб. 11. С. 181-208.
7. Кубесов А.К. Математическое наследие аль-Фараби. –Алма-Ата: -1974. – 246 с.
8. Маньковская Л.Ю. Исследование архитектурного комплекса-мавзолея Ахмада Ясави в городе Туркестане и вопросы его реставрации. –Ташкент: 1963. – 142 с.
9. Маргулан А.Х. Из истории городов и строительного искусства древнего Казахстана. - Алма-Ата: АН КазССР. 1950. -122 с.
10. Резенфельд Б.А., Юшкевич А.П. Математика стран Ближнего и Среднего Востока в средние века. – Свердловск: 1958. – 451 с.
11. Туякбаева Б.Т. Эпиграфический декор архитектурного комплекса Ахмада Ясави. –Алматы: Өнер. 1989. –176 с.
12. Тәкібаева С. Қожа Ахмет Ясауи кесенесі. -Алматы: 2015. - 207 б.
13. М. Накимхон. То'ра ibn Ма'sumхон то'ра. Muntaxab ut tavorix (Хо'qand va Buxoro tarixi,sayohat va хотиралар), fors-tojik tilidan SH.Vohidov tarjiması. -Toshkent: Yangi asr avlodi. -2010. -721 p.
14. Юшкевич А.П. История математики в средние века/Отв. ред. Б.А. Розенфельд. - М.: Государственное издательство физико-математической литературы. 1961. - 448 с.

А.К. Байдабеков, Э.А. Кемельбекова

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

Геометрические узоры в мавзолее Ходжи Ахмета Ясави

Аннотация. В статье рассмотрено использование геометрических узоров как одной из особенностей исламского искусства. Для создания этого уникального нового стиля потребовался значительный интеллектуальный вклад исламских математиков, астрономов и ученых. Расцветом архитектуры Средневековья стало учение о равновесии и гармонии. Поэтому геометрическая статика становится частью учения о геометрической гармонии. Отсюда видно единство архитектурно-пространственного формата сооружения и способа согласования его структуры. С тех пор геометрические методы как основа архитектуры стали ведущей идейной системой архитектуры, имевшей большое значение в становлении и развитии средневекового восточного зодчества. Работы зодчих средневекового Востока, художников, работавших с узорами и геометрическими узорами, сформировавшиеся как обобщение опыта, сформулированного в связи с новой классификацией математических наук, оказали решающее влияние на направление мировоззрения многих поколений. В то же время расширилась сфера использования геометрических узоров, поскольку теоретические основы возникли из самого опыта, из опыта строительства и художественного производства. Также освещалась геометрическая теория и практические проблемы, такие, как пространственная структура здания, баланс архитектурных сооружений, устойчивость и прочность конструкции в целом, геометрическая выразительность. Сохраняя баланс подобных геометрических узоров и архитектурных сооружений, был построен средневековый мавзолей Ходжи Ахмета Ясави. Это здание было пропагандой и распространением ислама, идеологическим и политическим символом государства Амира Темира. Мавзолей Ходжи Ахмета Ясави отличается масштабностью и величием замысла, но объемно-пространственная интерпретация комплекса проста. Одновременно рассматривается вопрос изучения геометрических узоров на фасадах мавзолея Ходжи Ахмета Ясави на основе этой теории и других геометрических законов.

Ключевые слова: мавзолей Ходжи Ахмета Ясави, аль-Фараби, Амира Темира, деление кругов на равные части, геометрические узоры, фасады.

A.K. Baidabekov, E.A. Kemelbekova

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

Geometric patterns in the mausoleum of Khoja Akhmet Yasawi

Abstract. The article considered the use of geometric patterns as one of the special features of Islamic art. Considerable intellectual input from Islamic mathematicians, astronomers, and scientists was required to create this unique new style. The heyday of architecture in the Middle Ages was the teaching of balance and harmony. Therefore, geometric statics becomes a part of the doctrine of geometric harmony. From this, the unity of the architectural-spatial format of the structure and the method of coordinating its structure can be seen. Since then, the geometric methods as the basis of architecture became the leading idea system of architecture, which had great importance in the formation and development of medieval Eastern architecture. The works of the architects of the medieval East, artists who worked with patterns and geometric patterns, formed as a generalization of the experience formulated in connection with the

new classification of mathematical sciences, had a decisive influence on the direction of the worldview of many generations. At the same time, the scope of use of geometrical patterns has expanded, as theory bases have arisen from the experience itself, from the experience of construction and art production. It also covered geometric theory and practical problems such as the spatial structure of the building, the balance of architectural structures, stability and strength of the structure as a whole, geometric expression. Maintaining the balance of such geometric patterns and architectural structures, the medieval Khoja Akhmat Yasawi mausoleum was built. This building was the propaganda and spread of Islam, ideological and political character of Amir Temir's state. The mausoleum of Khoja Akhmat Yasawi is distinguished by its scale and grandeur of design, but the volume-spatial interpretation of the complex is simple. At the same time, the issue of studying the geometric patterns on the facades of Khoja Ahmet Yasawi mausoleum based on this theory and other geometric laws is considered.

Keywords: Khoja Ahmet Yasawi, al-Farabi, Amir Temir mausoleum, division of circles into equal parts, geometric patterns, facades.

References

1. Abu Nasr al-Farabi. The science of classification. Monograph. Per. and explanation. J. Sandybaeva. [Abu Nasr al'-Farabi. O klassifikatsii nauk. Monografiya. Perevod i kommentarii ZH. Sandybayeva. – Almaty: 2020. -61 s.] -Almaty: 2020. -61 p. [in Russian]
2. Al-Farabi. A mathematical treatise. [Al'-Farabi. Matematicheskiye traktaty. –Alma-Ata: Nauka. -1972. -316 s.] -Almaty: Nauka. 1972. -316 p. [in Russian]
3. Abuov. Worldview of A.P. Khoja Ahmet Yasawi and its place in the history of Kazakh philosophy: Author's thesis. Doctor of philosophy. Science [Abuov. A.P. Mirovozzreniye Khodzha Akhmeta Yasavi i yego mesto v istorii kazakhskoy filosofii: Avtoreferat diss. d-ra filosof. nauk. -Almaty: -1997. -53 s.] -Almaty: 1997. -53 p. [in Russian]
4. Baklanov N.B. Geometric ornament of Central Asia and methods of its construction. [Baklanov N.B. Geometricheskii ornament Sredney Azii i metody yego postroyeniya. –M.: 1947. T. 9. S. 101-121] - M.: 1947. Vol. 9. P. 101-121. . [in Russian]
5. Bulatov M.S. Geometric harmony in the architecture of Central Asia in the IX-XV centuries: [Bulatov M.S. Geometricheskaya garmonizatsiya v arkhitekture Sredney Azii IX-XV vv.: -M.: Nauka. -1978. -380 s.] - M.: Nauka. 1978. -380 p. [in Russian]
6. Gaganov G.I. Geometric ornament of Central Asia. [Gaganov G.I. Geometricheskii ornament Sredney Azii. –M.: Arkhi-noye nasledstvo. 1958. Sb. 11. S. 181-208.] - M.: Architectural heritage. 1958. Sat. 11. P. 181-208. [in Russian]
7. Kubesov A.K. Mathematical legacy of al-Farabi. [Kubesov A.K. Matematicheskoye naslediye al'-Farabi. –Alma-Ata: 1974. – 246 s.] -Alma-Ata: 1974.- 246 p [in Russian]
8. Mankovskaya L. Yu. Study of the architectural complex-mausoleum of Ahmad Yasavi in the city of Turkestan and questions of its restoration. [Man'kovskaya L.YU. Issledovaniye arkhitekturnogo kompleksa-mavzoleya Akhmada Yasavi v gorode Turkestane i voprosy yego restavratsii.–Tashkent: -1963. –142 s.] -Tashkent: 1963. -142 p. [in Russian]
9. Margulan A.H. From the history of cities and architectural art of ancient Kazakhstan. [Margulan A.KH. Iz istorii gorodov i stroitel'nogo iskusstva drevnego Kazakhstana. -Alma-Ata: AN KazSSR. -1950. -122 s.] -Alma-Ata: AN KazSSR. 1950. -122 p. [in Russian]
10. Resenfeld B.A., Yushkevich A.P. Mathematics of the Middle and Middle East in the Middle Ages. [Rezenfel'd B.A., Yushkevich A.P. Matematika stran Blizhnego i Srednego Vostoka v sredniye veka. – Sverdlovsk: 1958. -451 s.] - Sverdlovsk: 1958. – 451 p. [in Russian]

11. Tuyakbaeva B.T. Epigraphic decoration of the architectural complex of Ahmed Yasavi. [Tuyakbayeva B.T. Epigraficheskiy dekor arkhitekturnogo kompleksa Akhmeda Yasavi. –Almaty: Öner. -1989. –176 s.] -Almaty: Art. 1989. -176 p. [in Russian]

12. Takibaeva S. Khoja Ahmet Yasawi mausoleum. [Takibaeva S.Qoja Axmet Yasawi kesenesi. -Almaty: 2015. -207 b.] -Almaty: Oner. 2015. -207 p. [in Russian]

13. M. Haimon. To'ra ibn Ma'sumxon to'ra. Muntaxab ut tavorix (History, travels and memories of Xo'qand and Buxoro), translated from the Frottoir language by SH. Vohidov. -Toshkent: Yangi asr avlodi. 2010. -721 p.

14. Yushkevich A.P. Mathematical History in the Middle Ages/Otv. ed. B.A. Rosenfeld. [Yushkevich A.P. Istoriya matematiki v sredniye veka/Otv. red. B.A. Rozenfel'd. -M.: Gosudarstvennoye izdatel'stvo fiziko-matematicheskoy literatury. -1961. -448 s.] -M.: Gosudarstvennoye izdatel'stvo fiziko-matematicheskoi literatury. 1961. -448 p. [in Russian]

Авторлар туралы мәлімет:

А.К. Байдабеков – хат-хабар авторы, т.ғ.д., профессор, «Дизайн және инженерлік графика» кафедрасы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 010008 Қазақстан, Астана, Сәтпаев көш., 2.

Э.А. Кемелбекова – аға оқытушы, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 010008 Қазақстан, Астана, Сәтпаев көш., 2.

Сведения об авторах:

А.К. Байдабеков – автор для корреспонденции, д.т.н., профессор, кафедра «Дизайн и инженерная графика», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, 010008 Казахстан, Астана, ул. Сатпаева, 2.

Э.А. Кемельбекова – старший преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, 010008 Казахстан, Астана, ул. Сатпаева, 2.

Information about authors:

A. Baidabekov – corresponding author, Doctor of Technical Sciences, Professor, Department of Design and Engineering Graphics, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010008 Republic of Kazakhstan, Astana, Satpayev 2.

E. Kemelbekova – Senior Lecturer, L.N. Gumilyov Eurasian National University, 010008 Republic of Kazakhstan, Astana, Satpayev 2.



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 67.09.05

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-87-97>

Article

Determination of technical characteristics of traditional foam concrete and foam concrete with mineral fiber

A. Askerbekova^{ID}, D. Dyusembinov^{ID}, R. Lukpanov^{ID}, Zh. Shakhmov*^{ID},
A. Jexembayeva^{ID}

"L.N. Gumilyov Eurasian National University" LLC, Astana, Kazakhstan

(E-mail: zhanbolat8624@mail.ru)

Abstract. Foam concrete is currently enjoying its popularity due to a number of advantages, such as non-toxicity, reduction of thermal insulation costs, noise absorption. Nowadays at the state level the issue of utilisation of waste of different nature and increasing the quality of recycling is constantly being considered. Also a big task is set in the scientific sphere of the country on recycling of utilised waste in different sectors and especially in the construction sector. There are numerous grant programmes in the scientific field, which are aimed at the use of waste in the industrial and construction sector of the country. This paper is devoted to the study of the qualitative characteristics of traditional foam concrete and foam concrete with the addition of mineral fibre. In the construction sphere the main thermal insulating material in the form of mineral boards is widely used and there are factories for the production of basalt boards in the course of production of which there is a lot of basalt waste. Tests have been carried out according to the standard methodology in order to determine the strength and density of the finished product. According to the test results it was determined that the pore structure and strength is uniform over the whole surface of the blocks. It was also determined that the specimens with fibre showed a strength of more than 50% compared to conventional foamed concrete. This work will be a good direction for further in-depth study on the utilisation of basalt slabs in construction.

Keywords: foam concrete, strength, density, pores, mineral fiber, pore structure, binder.

Received on 09.02.2024 Finalized on 14.03.2024 Approved on 09.06.2024 Available online on 30.06.2024

*the corresponding author

Introduction

Today, the construction industry is saturated with different building materials, from cement-based materials to organic binders.

The advantages of cement binder are high strength and high density; however, there are materials with lower density, such as lightweight concrete on lightweight aggregate, as well as cellular concrete with low density and pore structure.

Due to the high demand for this cellular material, there has been an increased interest in the research and improvement of this material. Cellular concrete has the purpose as a thermal insulation, thermal insulation and structural and structural, as well as low thermal conductivity and density of 200 to 500 kg/m³ with minimum strength properties, thermal insulation and structural has a density of 600 to 800 kg/m³ low thermal conductivity and strength allowing to build a structure from 2,5 to 4,5 MPa, structural cellular concrete has a density of 900 to 1200 kg/m³ has the purpose as a structural material thermal conductivity is lower than that of concrete and higher than that of heat-insulating-constructive cellular material. The big disadvantage of aerated concrete is its instability during the preparation process. Cellular concrete is of two types: foam concrete and aerated concrete. A distinctive feature of foam concrete is the method of obtaining a cellular structure in foam concrete, it is adding of foam concentrate, which contributes to the formation of a closed pore structure of the material. Foam concrete, over time, has occupied its place in the construction industry and it began to be used as a monolithic thermal insulation material, since the production of structural material was always accompanied by a large number of low-quality products; foam mortar gave a large shrinkage in the mold and the material became unserviceable. However, the use of waste from the production of mineral insulators as a reinforcing component makes it possible to ensure a high-quality structure of foam concrete and increase the strength characteristics of the material.

Research methods

For the foam concrete production using mineral fiber, based on waste from the production of basalt insulation, a comparative analysis with the traditional foam concrete product, manufactured according to the standard method, was conducted. The composition of traditional foam concrete and foam concrete using mineral fiber is presented in Table 1.

Table 1. The composition of foam concrete D 500

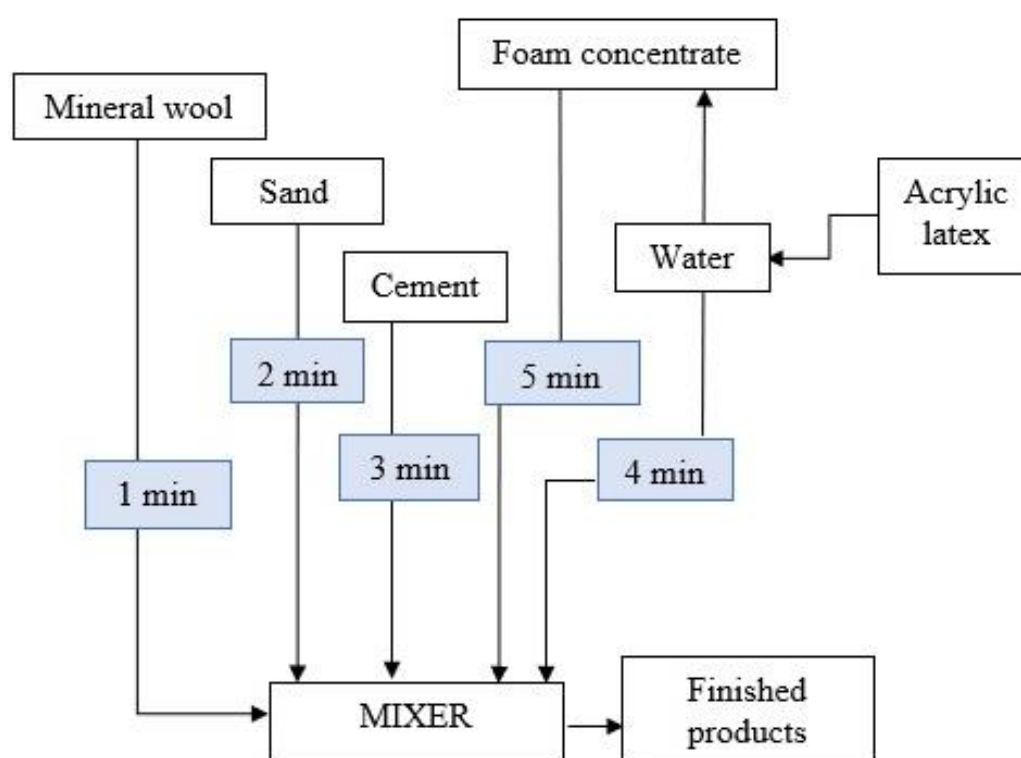
Nº	Type of foam concrete	Cement, kg	Sand, kg	Foaming agent, kg	Mineral fiber, kg	Polymer, %	Water, kg
1	Traditional foam concrete (Type 1)	300	180	1,5	–	–	150

2	Foam concrete with the use of mineral fiber (Type 2)	230	240	1,5	20	0,1	140
---	--	-----	-----	-----	----	-----	-----

In the production of traditional foam concrete, the mixer is loaded with dry components: sand and cement; then water is poured into the mixer, the water temperature should not be below 22 C. Next, the mixture is thoroughly blended for 5-7 minutes. Afterwards, the foam is prepared as follows: 1.5 liters of foam concentrate is mixed with 40 liters of water, then, the resulting foam is loaded into the mixer and blended with the solution for 3 minutes. And when it is unloaded into molds, after an hour the excess is removed from the top.

To produce foam concrete using mineral fiber, mineral fiber is loaded into the mixer, after which sand is loaded and blended for 2 minutes. Then cement is loaded and mixed for 3 minutes, after which water, previously combined with a water-soluble polymer, is poured into the mixer; the water temperature should not be lower than 22°C. Next, the mixture is thoroughly blended for 4 minutes. After which the foam is prepared as follows: 1,5 liters of foam concentrate is mixed with 40 liters of water, the resulting foam is loaded into the mixer and blended with the solution for 2 minutes. And when it is unloaded into molds, after an hour the excess is removed from the top.

The production diagram of foam concrete using mineral fiber is presented in Picture 1.



Picture 1. Foam concrete production scheme with mineral fiber

After 28 days sampling was carried out. Sampling was carried out according to the methods of GOST 12852-77 "Cellular Concretes. Test methods". Cube samples for the study were sawed out of prepared samples of type 1 and type 2. The dimensions of the samples of type 1 and type 2 were: length 600 mm, width 400 mm and height 400 mm. The test specimens were sawn from the upper middle and lower parts of the product, three specimens from each part. When cutting out cube samples, at least 40 mm were removed from the edge. The room temperature was 19°C at 35% relative humidity. The specimens were kept in the laboratory for 24 hours before testing. The age of the specimens was 28 days; 54 specimens (cubes) were made: 27 made of composite aerated concrete and 27 prepared in the traditional way. A template was used for sawing even specimens, which allows to obtain specimens with an even geometric surface with an error of up to 1mm.

To start the tests, the density of samples was determined according to GOST 12730.1-78 Concretes. Methods of density determination. The volume was determined using a caliper because the sample (cubes) had the correct geometric shapes 100x100x100.

Density was determined by the formula:

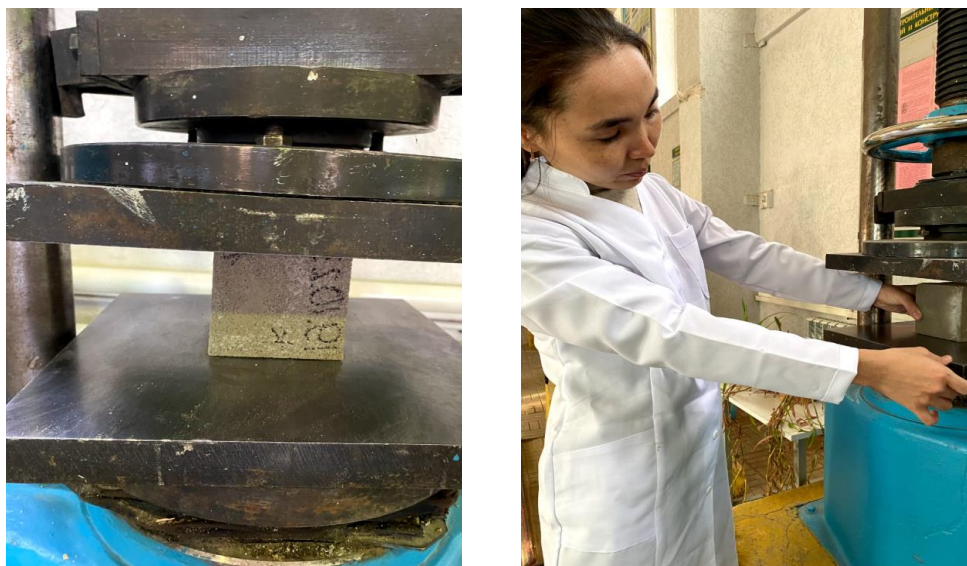
$$\rho_{\omega} = \frac{m}{V} * 1000 \quad (1)$$

Where ρ_w is the density of the material

m – sample mass gr.

V – sample volume cm.

The strength of foam concrete type 1 and type 2 was determined according to GOST 10180-2012 Concretes. Methods for determining the strength of control samples. Tests were carried out on 100x100x100 specimens prepared in advance by sawing from a solid block 600x400x400. The age of specimens is 28 days.



Picture 2. Compressive strength test

The compression test is presented in Picture 2; the samples were tested on an automatic CONTROLS(Pilot) 500 kH press. Strength from one series was determined as the arithmetic mean value of the tested samples. 18 samples were tested, 9 from each series,

Test results

In the studies of foreign scientists there are works on the approval of the effective use of polymer fibers in the production of cellular concrete, but in these studies the priority determining the efficiency of cellular concrete is its strength; no work has been carried out on compression and dynamic effects regarding the uniformity of the cellular structure. The results of determining the density of foam concrete type 1 in comparison with foam concrete type 2 allowed us to objectively assess the quality of the pore structure of the materials. According to a study of the pore structure of non-autoclaved foam concrete type 1, its heterogeneity and, as a consequence, there is a difference in density in various areas of the material. The quality of the pore structure directly depends on the difference in the density of the material in various areas of the same block.

Table 2. Density of foam concrete type 1 and type 2

№	Sample	Actual density		
		Top samples	Average samples	Lower samples
1	Type 1	420,5	510,7	580,1
		418,5	517,4	582,8
		422,7	516,3	587,2
	Average density	420,5	514,8	583,3
	The average density of all samples			506,2
2	Type 2	508,4	508,9	510,1
		507,7	508,5	510,7
		505,2	509,8	509
	Average density	507,1	509	509,9
	The average density of all samples			508,6

Based on Table 2 in foam concrete type 1, we see a density difference between the upper and lower samples, which indicates an uneven distribution of pore structure, caused by the shrinkage of foam-expanded solution until it is gripped; heavy particles of sand and cement are lowered down, thus increasing the density of the bottom of the foam concrete

Type 2 foam concrete, in contrast to type 1, has a more stable density in all areas of the tested material, which is explained by the composition and technology of its production. We get a positive effect from the use of mineral fiber, which structures and preserves the frame of the foam-expanded solution and the uniform distribution of all components of the solution.

Thus, the use of mineral fiber preserves the structure of foam concrete and provides quality improvement (Table 3).

Table 3. Compressive strength of foam concrete type 1 and type 2

№ №п/п	Sample	Average density, kg/m ²	The strength of the samples, MPa		
			Top samples	Average samples	Lower samples
11	Type 1	506,2	0,9	1,9	2,3
			0,5	1,5	2,1
			1,1	1,8	2,1
	Average strength index	506,2			
	The average strength of all samples				
22	Type 2	508,6	3,1	3,2	3,3
			3,0	3,0	3,3
			3,2	3,1	3,0
	Average strength index	508,6			
	The average strength of all samples				

The strength of type 1 foam concrete is 49,52% lower than type 2 foam concrete. This difference in material strength is a result of the uniformity of pore distribution. One of the first important factors contributing to a decrease in the strength of type 1 foam concrete is the delamination of the foam before the foam solution begins to set.

The explanation for the high strength of type 2 foam concrete is the use of mineral fiber, which provides the structure of the foam concrete frame, thereby facilitating the high-quality distribution of all components, and reinforcement allows to increase the strength.

Conclusion

1. Density difference studies of type 1 foam concrete at three areas of the material (upper, middle, lower) showed density differences from the average density of all samples:

- for the upper samples lower by 20,38 %,
- for the middle samples higher by 1,69%,
- for the lower samples higher by 15,23 %.

The results show that the pore structure of type 1 foam concrete has irregular pores with a certain increase in the density of the material top. The density of type 2 foam concrete samples showed high stability in all areas of the tested material. Density difference of type 2 foam concrete from average density of all samples:

- for the upper samples lower by 0,29 %,
- for the middle samples higher by 0,08%,

– for the lower samples higher by 0,25%.

Thus, having analyzed the results, we can conclude that type 2 foam concrete has a uniform pore structure, providing stable density in all areas of the tested material. Stability of density of type 2 foam concrete in contrast to type 1 is higher by 98%.

2. Compressive strength tests on type 2 foam concrete showed a 98,1% increase in strength. The strength value in three areas (upper, middle, lower) of the tested material showed the difference in strength from the average strength of all samples:

- for the upper samples lower by 0,97 %,
- for the middle samples higher by 0,97 %,
- for the lower samples higher by 2,24 %.

The strength of type 1 foam concrete showed the difference in strength in the material sections (upper, middle, lower) of the samples from the average strength of all samples:

- for the upper samples lower by 90,36 %,
- for the middle samples higher by 9,49%,
- for the lower samples higher by 37,34 %.

According to the results obtained, it can be concluded that type 2 foam concrete has almost uniform strength in all areas of the block, with the exception of an error of $\pm 0,07\%$.

Acknowledgement

The authors would like to express their gratitude to the research and production center "ENU-lab" in conducting laboratory tests of foam concrete.

This research has been/was/is funded by the Committee of Science of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No. BR21882278 «Establishment of a construction and technical engineering centre to provide a full cycle of accredited services to the construction, road-building sector of the Republic of Kazakhstan»).

Author contribution:

A.Askerbekova, D.Dyusembinov, R.Lukpanov – conceptualization, approving of final version, funding acquisition

Zh.Shakhmov, A. Jexembayeva – analysis, writing, interpretation of results, data collection, critical review of content.

References

1. Ardhira, P. J., R. Ardra, Mandala Harika, and Dhanya Sathyan. Study on Fibre Reinforced Foam Concrete-a Review // *Materials Today: Proceedings*, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.03.551>.
2. Asil, Meysam Bagheripour, and Malek Mohammad Ranjbar. Hybrid Effect of Carbon Nanotubes and Basalt Fibers on Mechanical, Durability, and Microstructure Properties of Lightweight Geopolymer Concretes // *Construction and Building Materials* 357 (November 28, 2022). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.129352>.

3. Bonakdar, A., F. Babbitt, and B. Mobasher. Physical and Mechanical Characterization of Fiber-Reinforced Aerated Concrete (FRAC). // *Cement and Concrete Composites* 38 (April 1, 2013): 82–91. <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2013.03.006>.
4. Choi, Jeong-Il, and Bang Yeon Lee. Bonding Properties of Basalt Fiber and Strength Reduction According to Fiber Orientation. // *Materials* 8, no. 10 (September 30, 2015): 6719–27. <https://doi.org/10.3390/ma8105335>.
5. Gencil, Osman, Syed Minhaj Saleem Kazmi, Muhammad Junaid Munir, Gokhan Kaplan, Oguzhan Yavuz Bayraktar, Duygu Ozturk Yazar, Arash Karimipour, and Muhammad Riaz Ahmad. Influence of Bottom Ash and Polypropylene Fibers on the Physico-Mechanical, Durability and Thermal Performance of Foam Concrete: An Experimental Investigation. // *Construction and Building Materials* 306 (November 1, 2021): 124887. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.124887>.
6. Gencil, Osman, Mehrab Nodehi, Oguzhan Yavuz Bayraktar, Gokhan Kaplan, Ahmet Benli, Aliakbar Gholampour, and Togay Ozbakkaloglu. Basalt Fiber-Reinforced Foam Concrete Containing Silica Fume: An Experimental Study. // *Construction and Building Materials* 326 (April 4, 2022): 126861. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2022.126861>.
7. Hamada, Hussein M., Jinyan Shi, Farid Abed, Ali M. Humada, and Ali Majdi. Recycling Solid Waste to Produce Eco-Friendly Foamed Concrete: A Comprehensive Review of Approaches. // *Journal of Environmental Chemical Engineering* 11, no. 6 (December 1, 2023): 111353. <https://doi.org/10.1016/j.jece.2023.111353>.
8. Jin, Yingli, Xinquan Wang, Wen Huang, Xiao Li, and Quan Ma. Mechanical and Durability Properties of Hybrid Natural Fibre Reinforced Roadbed Foamed Concrete. // *Construction and Building Materials* 409 (December 15, 2023): 134008. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134008>.
9. Kocyigit, Fatih, Muhammed Bayram, Gokhan Hekimoglu, Vedat Veli Cay, Osman Gencil, Abid Ustaoglu, Ahmet Sari, Ertugrul Erdogmus, and Togay Ozbakkaloglu. “Thermal Energy Saving and Physico-Mechanical Properties of Foam Concrete Incorporating Form-Stabilized Basalt Powder/Capric Acid Based Composite Phase Change Material. // *Journal of Cleaner Production* 414 (August 15, 2023): 137617. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2023.137617>.
10. Mastali, M., P. Kinnunen, H. Isomaisio, M. Karhu, and M. Illikainen. Mechanical and Acoustic Properties of Fiber-Reinforced Alkali-Activated Slag Foam Concretes Containing Lightweight Structural Aggregates. // *Construction and Building Materials* 187 (October 30, 2018): 371–81. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.07.228>.
11. Nam, Jeongsoo, Gyuyong Kim, Jaechul Yoo, Gyeongcheol Choe, Hongseop Kim, Hyeonggil Choi, and Youngduck Kim. Effectiveness of Fiber Reinforcement on the Mechanical Properties and Shrinkage Cracking of Recycled Fine Aggregate Concrete. // *Materials (Basel, Switzerland)* 9, no. 3 (February 26, 2016): 131. <https://doi.org/10.3390/ma9030131>.
12. Shankar, A. N., Sushil Chopade, R. Srinivas, Nirmith Kumar Mishra, H. K. Eftikhaar, Gaurav Sethi, and Bharat Singh. Physical and Mechanical Properties of Foamed Concrete, a Literature Review. // *Materials Today: Proceedings*, November 3, 2023. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2023.10.105>.
13. Soltanzadeh, Fatemeh, Ali Edalat-Behbahani, and Eduardo N. B. Pereira. Bond Behavior of Recycled Tyre Steel Fiber Reinforced Concrete and Basalt Fiber-Reinforced Polymer Bars under Static and Fatigue Loading Conditions. // *Journal of Building Engineering* 70 (July 1, 2023): 106291. <https://doi.org/10.1016/j.jobbe.2023.106291>.

14. Wang, Jian, Xueying Li, Yu Hu, Yiyi Li, Ping Hu, and Yading Zhao. Physical and High Temperature Properties of Basalt Fiber-Reinforced Geopolymer Foam with Hollow Microspheres. // Construction and Building Materials 411 (January 12, 2024): 134698. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2023.134698>.

15. Yavuz Bayraktar, Oguzhan, Gokhan Kaplan, Osman Gencel, Ahmet Benli, and Mucahit Sutcu. Physico-Mechanical, Durability and Thermal Properties of Basalt Fiber Reinforced Foamed Concrete Containing Waste Marble Powder and Slag. // Construction and Building Materials 288 (June 21, 2021): 123128. <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.123128>.

16. Ali, Ali Rushdi Ahmed. Neavtoklavnyj gazobeton na osnove pylevidnyh i voloknistyh bazal'tovyh othodov. // Kandidat nauk, 2021. <https://dissercat.com/content/neavtoklavnyi-gazobeton-na-osnove-pylevidnykh-i-voLNoknistykh-bazaltovykh-otkhodov>.

17. Anatol'evna, Bel'kova Natal'ya, and Ivashchenko Elena Ivanovna. Fibroarmirovannye Penobetonny Neavtoklavnogo Tverdeniya Na Osnove Bazal'tovoj i Poliamidnoj Fibr: Osnovnye Harakteristiki. // Vestnik Inzhenernoj SHkoly Dal'nevostochnogo Federal'nogo Universiteta, no. 2 (51) (2022): 97–104.

А.Аскербекова, Д.Дюсембинов, Р.Лукпанов, Ж.Шахмов*, А.Джексембаева

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

Дәстүрлі көбік бетонының және минералды талшықты көбік бетонының техникалық сипаттамаларын анықтау

Аңдатпа. Көбік бетон қазіргі уақытта уыттылық, жылу оқшаулау шығындарының төмендеуі, шуды сіңіру сияқты бірқатар артықшылықтарға байланысты танымал болып келеді. Қазіргі уақытта мемлекеттік деңгейде әртүрлі сипаттағы қалдықтарды кәдеге жарату және қайта өңдеу сапасын арттыру мәселесі үнемі қарастырылуда. Сондай-ақ, еліміздің ғылыми саласында әртүрлі салаларда, әсіресе құрылыс саласында пайдаланылған қалдықтарды кәдеге жарату бойынша үлкен міндет тұр. Ғылыми салада елдің өнеркәсіптік және құрылыс секторында қалдықтарды пайдалануға бағытталған көптеген гранттық бағдарламалар бар. Бұл жұмыс минералды талшық қосылған пенобетон мен дәстүрлі пенобетонның сапалық сипаттамаларын зерттеуге арналған. Құрылыс саласында минералды тақталар түріндегі негізгі жылу оқшаулағыш материал кеңінен қолданылады және өндіріс барысында базальт қалдықтары көп болатын базальт тақталарын шығаратын зауыттар бар. Дайын өнімнің беріктігі мен тығыздығын анықтау мақсатында сынақтар стандартты әдістеме бойынша жүргізілді. Сынақ нәтижелері бойынша кеуектердің құрылымы мен беріктігі блоктардың бүкіл бетінде біркелкі екендігі анықталды. Сондай-ақ, талшықты үлгілердің беріктігі кәдімгі көбіктендірілген бетонмен салыстырғанда 50% - дан астам екендігі анықталды. Бұл жұмыс құрылыста базальт плиталарын пайдалануды одан әрі тереңдетіп зерттеу үшін жақсы бағыт болады.

Түйін сөздер: көбік бетон, беріктік, тығыздық, тері тесігі, минералды талшық, кеуек құрылымы, тұтқыр.

А.Аскербекова, Д.Дюсембинов, Р.Лукпанов, Ж.Шахмов*, А.Джексембаева
«Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева», Астана, Казахстан

Определение технических характеристик традиционного пенобетона и пенобетона с минеральной фиброй

Аннотация. Пенобетон в настоящее время пользуется своей популярностью за счет ряда преимуществ, таких, как нетоксичность, уменьшение затрат на термоизоляцию, поглощение шума. Сейчас на государственном уровне постоянно рассматривается вопрос по утилизации отходов разного характера и увеличение качества переработки. Также большая задача поставлена в научной сфере страны по вторичному использованию утилизируемых отходов в разных отраслях и в особенности в строительной сфере. Множественные грантовые программы имеются в научной сфере, которые направлены на использование отходов в промышленной и строительной сфере страны. Данная статья посвящается исследованию качественных характеристик традиционного пенобетона и пенобетона с добавлением минеральной фибры. В строительной сфере широко используется основной теплоизоляционный материал в виде минеральных плит и имеются заводы по производству базальтовых плит, в ходе производства которых остается множество отходов базальта. Проведены испытания по стандартной методике с целью определения показателей прочности и плотности готовой продукции. По результатам испытаний определено, что поровая структура и прочность по всей поверхности блоков является равномерной. Также было определено, что образцы с фиброй показали прочность более 50% по сравнению с обычным пенобетоном. Данная работа будет хорошим направлением для дальнейшего глубоко исследования утилизации базальтовых плит в строительстве.

Ключевые слова: пенобетон, прочность, плотность, поры, минеральная фибра, поровая структура, вяжущее.

Information about authors

Askerbekova Arailym Myrzakhankyzy – L.N. Gumilyov Eurasian National University, doctoral student, +7 702 277 7220, e-mail: arai_09.91@mail.ru

Dyusembinov Duman Serikovich – L.N. Gumilyov Eurasian National University, Candidate of Technical Sciences, associate professor, +7 705 428 3858, e-mail: dusembinov@mail.ru

Lukpanov Rauan Ermagambetovich – L.N. Gumilyov Eurasian National University, PhD, Associate Professor, +7 701 188 4444, e-mail: rauan_82@mail.ru

Shakhmov Zhanbolat Anuarbekovich – L.N. Gumilyov Eurasian National University, PhD, Associate Professor, +7 777 758 3954, e-mail: zhanbolat8624@mail.ru

Jeksembayeva Asel Ermekovna – L.N. Gumilyov Eurasian National University, PhD, Director of the Innovation Development Department, +7 701 888 2587, e-mail: dzheksembayeva_ae@mail.ru,

Аскербекова Арайлым Мырзаханқызы – Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, докторант, +7 702 277 7220, e-mail: arai_09.91@mail.ru

Дюсембинов Думан Серикович – Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, кандидат технических наук, доцент, +7 705 428 3858, e-mail: dusembinov@mail.ru

Лукпанов Рауан Ермагамбетович – Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, кандидат технических наук, доцент, +7 701 188 4444, e-mail: rauan_82@mail.ru

Шахмов Жанболат Ануарбекович – Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, кандидат технических наук, доцент, +7 777 758 3954, e-mail: zhanbolat8624@mail.ru

Жексембаева Асель Ермаковна – Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, кандидат технических наук, директор департамента инновационного развития, +7 701 888 2587, e-mail: dzheksembayeva_ae@mail.ru

Әскербекова Арайлым Мырзаханқызы – Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, докторант, +7 702 277 7220, e-mail: arai_09.91@mail.ru

Дүйсембинов Думан Серікұлы – Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, +7 705 428 3858, e-mail: dusembinov@mail.ru

Лұқпанов Рауан Ермағамбетұлы – Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, +7 701 188 4444, e-mail: rauan_82@mail.ru

Шахмов Жанболат Әнуарбекұлы – Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, техника ғылымдарының кандидаты, доцент, +7 777 758 3954, e-mail: zhanbolat8624@mail.ru

Жексембаева Әсел Ермаққызы – Л.Н. Гумилева атындағы Еуразия ұлттық университеті, техника ғылымдарының кандидаты, инновациялық даму департаментінің директоры, +7 701 888 2587, e-mail: dzheksembayeva_ae@mail.ru



IRSTI 67.11.29

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-98-111>

Review

Static load test of unreinforced Franchi (B-4350) soil reinforcement pile

M.Nurgozhina*¹, A.Zhussupbekov¹, D.W. Chang², D.Yu.Chunuyk³

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

² Tamkang University, New Taipei City, Taiwan

³ Moscow State University of Civil EngineeringThe, Moscow, Russian Federation

(E-mail: malika_nur@list.ru)

Abstract. Micro-pile drilling technology is often used today for the reconstruction and repair of buildings whose foundations are heavily loaded. Once installed, the piles take up part of this load. They can also be used to improve the load-bearing capacity of building foundations before the upper floors are built on top of them or before additional underground floors are constructed. Construction of buildings and structures in areas with complex soils is a special case. Buildings constructed in such conditions as a result of underground mining operations, soil movement into the excavated space and formation of a displacement trough on the ground surface are subjected to uneven settlement and horizontal deformations during operation. This paper presents the results of field tests of unreinforced Franki micro-pile (B-4350) unreinforced pile for soil reinforcement. Based on the obtained data, it can be concluded that the use of micro-piles to reinforce the foundations of reconstructed buildings provides a reduction in construction costs, labor costs and construction time, and as a consequence demonstrates their undeniable effectiveness. Application of micro-piles at reinforcement of strip foundations, in comparison with the traditional reinforcement design gives reduction of the estimated cost of construction (by 8 %), mainly due to reduction of the cost of operation of machines (by 46 %) and reduction of wages (by 24 %), though with some increase in the cost of materials (by 28 %), which somewhat levels out the general tendencies of cost reduction.

Keywords: total settlement, bearing capacity, static load test, load-settlement

Received on 02.05.2024 Finalized on 13.06.2024 Approved on 25.06.2024 Available online on 30.06.2024

* the corresponding author

1. Introduction

Static tests of soils for bored piles begin after the concrete strength of the pile reaches more than 80% of the design strength or after the resting pile for driven piles. The duration of rest is established by the test program depending on the composition, properties and condition of the cut soils and soils under the bottom end of the pile, but not less:

- 3 days – for sandy soils, except for water-saturated shallow and dusty soils;
- 6 days – for clayey and heterogeneous soils;

The following engineering method of calculating strip foundations on micro-piles with a low basement, based on linear solutions of the theory of elasticity, does not allow to determine the bearing capacity of the foundation with sufficient accuracy for practical purposes at settlements of more than 20 mm. Therefore, for a more complete description of the settlement and stress-strain state of the foundation of single micro-piles and foundations on micro-piles, we used a specialized program for foundation calculation PLAXIS 7.2 Professional.

When investigating the actual performance of micro-piles, strip foundations on micro-piles and the soil foundation, the selected design model plays an important role. The model of the soil foundation, which was used to calculate single micro-piles and strip foundations on micro-piles, was the elastic-plastic Mora-Coulomb model, using the Mnzses-Schleicher-Botkin strength criterion.

The following parameters are required for calculation using this model:

- specific gravity of dry ydry;
- specific weight of wet soil ywet;
- soil filtration coefficient in horizontal k_x and vertical k_u directions;
- ground deformation modulus $E_{ge}/$,
- Poisson's ratio ν ;
- soil specific cohesion $s_{ge}/$,
- soil internal friction angle ϕ ;
- angle of soil volume increase at moistening (dilatancy angle) ψ /, for clayey soils $=0$.

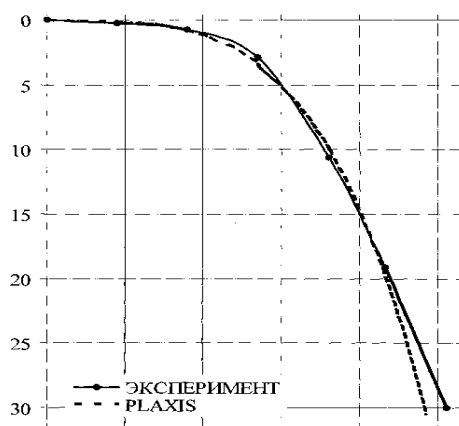


Figure 1. Calculated and experimental load-settlement relationships for single micro-piles

Figure 1 shows the experimental and calculated plots of soil point displacements along the axis of the micro-pile at different elevations. The experimental settlement of the micro-pile was 30.02 mm, while the calculated settlement was 37.6 mm. The character of change of displacements under the heel of the micro-pile in both graphs is the same. However, the attenuation of displacements with depth on the calculated graph is faster than on the experimental one. At a distance of 0.75 m below the micro-pile heel, which is approximately equal to 3 diameters of the micro-pile widening, the experimental displacement is 1.41 mm, while the calculated displacement is 0.63 mm. When analyzing the displacement of soil points, it is seen that the experimental displacement at a distance of 0.5 m above the heel of the micro-pile was 2.58 mm, the calculated displacement was 0.72 mm. In the area of the ground from the heel of the micro-pile and at 0.25 m above there is a break of the calculated graph, corresponding to the rupture of the ground. In the area of 0.25 to 0.5 m above the micro-pile heel, the soil works elastically, and the displacements of soil points with distance from the micro-pile heel are damped.

Table 1. Load on micropipe, kN

Experimental and design bearing capacity, kN	1	2	3	4	5	10	20	30
Experimental bearing capacity, kN	9,6	11,7	13,5	14,3	14,9	17,7	21,7	25,6
Design bearing capacity, kN	9,8	11,6	13,1	13,9	15,1	18	21,9	24,3
Accuracy, %	2,5	-1,3	-3,2	-3,2	1,3	1,7	0,7	-5,2

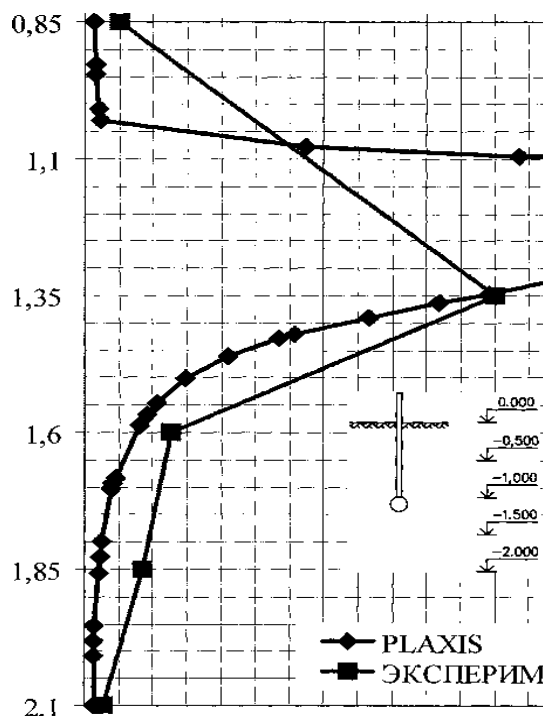


Figure 2. Layer-by-layer displacements of soil points along the axis of the micro-pile at different grades under a load of 25.6 kN

Figure 2 shows the calculated plots of changes in total stresses and displacements in the soil by depth and width under the heel of the micro-pile. When analyzing the graphs of the stressed state of the base of single micro-piles, obtained by calculation according to the Mora-Coulomb model, the following remarks can be made. The total vertical stresses under the heel of the micro-pile amounted to 382 kPa, and at a distance of 1 m from the heel of the micro-pile - 30 kPa. While the experimental total stresses under the heel were 403 kPa and at a distance of 1 m - 43 kPa. The calculated stresses decay faster with depth than the experimental stresses. This is explained by the higher distributive capacity of soils in comparison with the calculated elastic-plastic model of Mohr-Coulomb.

The installation for testing soils with static indentation loads should include the following equipment: a device for loading the pile (jack), a support structure or platform for reactive forces, a device for measuring the movement of the pile in the process of testing (reference system with izmiritichnymi devices). This paper presents the results of static load test for unreinforced Franki pile (B-4350), which is used under MSE Wall at Gaza Bridge/Baghdad Province for ground improvement. The load test of the pile was conducted by Al-Yasir for Piles Testing office, which carried out all the field work for testing the pile and recording the results as requested by the concerned authority. Details of the tested pile are summarized below:

Table 2. Pile details

Pile No.	Pile Type	Pile Net Length (m)	Pile Diam. (m)	Design Working load (Ton)	Max. Applied Load (Tons)
(B-4350)	Unreinforced Franki pile	13.5	D=0.50	100	200

2. Methods

The Eurocode (EC7-1) defines in clause 7.5 when pile testing should be considered mandatory, namely:

- When using a pile type or installation method for which there is no comparable experience.
- When piles have not been tested under similar conditions.
- When theory and practice are insufficient to provide confidence in the design and when observations during installation show behavior that deviates from what is expected.

The objectives of the load test are:

To demonstrate the stiffness and strength of the pile, which is assumed in the design and can be achieved in reality, and to perform a spot check on the performance of the pile driver, additional pile driving equipment. Accordingly, pile tests were conducted to observe the behavior of the pile under settling load up to 200% of the working load, and to analyze the test results.

A pile shall be considered non-compliant with the design requirements if any of the following conditions occur:

- Maximum settlement exceeds 25 mm at 100% working load

- Maximum settlement exceeds 37.5 mm at 150% working load
- Maximum settlement under ultimate load is greater than the value of settlement = (10%*pile diameter).
- Based on New York City Code criteria, at applied load = 50% of design load, net settlement of the pile is not greater than 5.08 mm.

It is difficult to make a selection of the best axial bearing capacity criterion to use because the preferred criterion is highly dependent on experience and an idea of what constitutes the ultimate fracture resistance of the pile, the following several methods are used to analyze the ultimate resistance of tested piles:-

- Daviss method: it has very wide application and tends to be conservative. It is not suitable for test methods involving loading and unloading cycles.
- De Peer's Method: Use of log - log scale to determine yield strength
- Fung Kee Method: extrapolation methods extrapolate the last part of the load-displacement curve beyond the maximum applied load
- Fuller and Huy Method: using the tangent, find the fracture load (Q)ult on the curve where the tangent to the elastic displacement load of 1.27 mm/ton will have a slope of.
- Mazurkiewicz Method: the ultimate load values are the most conservative results, smaller than values obtained by other methods. It is simple in design and more reliable, especially for piles loaded near failure.
- Method I.S.2911 - Part: safe load = 2/3* (load at which the total settlement reaches 12 mm) or 2% of the pile diameter.
- Decourt extrapolation: Decourt (1999) proposed this method by dividing each load by the corresponding displacement and plotting the resulting value against the applied load, a curve tending to a line intersecting the abscissa.

Compression test procedure per (ASTM-D -1143-2020) Standard Test Methods for Deep Foundations under Static Axial Compressive Loads, paragraph (10.1.3): Apply the test load in increments of 10% of the predetermined required test load as determined by the Engineer. Maintain each increment of load until the rate of axial displacement is less than 0.25 mm per hour, with a minimum time of 30 min and a maximum time of 2 hr. After the axial displacement first exceeds 0.25 mm per hour for the specified maximum time of 2 h and after the load step, reduce the load in decreases of 25% of the maximum test load, keeping the load constant for 10 min, using the same time interval for all load reductions. Considering a longer time interval, not exceeding 1 h, for the final zero load to evaluate the rebound behavior.

Table 3. ASTM-D-2020 -10.1.3 : Procedure B Maintained Page 12				
MSE Wall in Gaza Bridge Franki pile test load / Working load = 100 Tons/ Maximum load = 200 Tons				
Percent of Maximum Load %	Applied Load Tons	Minimum Time of Load Holding (Min.)	Reading Interval (Min.)	Jack perssure Bar
0%	0			Jack 26 cm
10%	20	1 Hr.	(0, 10,20,30,40,50,60)	38
20%	40	1 Hr.	(0, 10,20,30,40,50,60)	75

30%	60	1 Hr.	(0, 10,20,30,40,50,60)	113
40%	80	1 Hr.	(0, 10,20,30,40,50,60)	151
50%	100	1 Hr.	(0, 10,20,30,40,50,60)	188
60%	120	1 Hr.	(0, 10,20,30,40,50,60)	226
70%	140	1 Hr.	(0, 10,20,30,40,50,60)	264
80%	160	1 Hr.	(0, 10,20,30,40,50,60)	302
90%	180	1 Hr.	(0, 10,20,30,40,50,60)	339
100%	200	2 Hrs.	(0, 20,40,60,80,100,120)	377
75%	150	10 Min.	(0,2,4,6,8,10)	283
50%	100	10 Min.	(0,2,4,6,8,10)	188
25%	50	10 Min.	(0,2,4,6,8,10)	94
0%	0	1 Hr.	(10,20,30,40,50,60)	0
Total Accumulated Time =750 Min.= 12:30 Hrs.				

However, for the compression test, either the Kent ledge, tension piles or soil anchors can be used as the reactive element. The use of a Kent ledge is preferred because the piles or anchors may affect the result of the test.

Depending on the type of reaction, the following considerations should be taken into account when installing test piles:

- Reaction piles should be placed at least 2.0 m deeper than the test pile.
- The centerline distance between the test pile and any reactive pile shall be a minimum of four pile diameters (largest pile) or 3.0 m, whichever is greater.
- The minimum distance between the test pile and the nearest edge of the support (Kent ledge) shall be 2.5 m, or three times the pile diameter.

The Pile Testing Contractor has arranged for all necessary equipment and supplies for load testing of piles such as Kent ledge dead load, load gauges, deflection gauges, hydraulic jacks, pressure gauges, etc. [see Appendix]. All these instruments have been calibrated for accuracy by the Central Organization for Standardization and Quality. Calibration sheets are attached to this report. All fieldwork and records described herein. All field work and records described herein are the responsibility of the pile contractor and the project owner, who oversees the contractor's work at the site. Tests were conducted using a hydraulic jack, a 600 bar pressure gauge and two dial gauges in accordance with the B.S. Standard Test Methods for Testing Deep Foundations under Static Axial Compressive Loads." The tests were conducted on April 14 and 15, 2024. A continuous record was kept of the pile head displacement at each addition or removal of load during the specified time period, graphs are provided in the Appendix.

3. Results and discussion

The total settlement was (1.64) mm at a load of (100) tons (working load) and the total settlement was (6.46) mm at a load of (200) tons (equal to 200% of working load) in the second

cycle, the final residual settlement for the second cycle was (1.62) mm, which is less than 50% of the total settlement equal to (25.08%), The load vs. load plots of vertical pile head settlement, time vs. pile vertical settlement and time vs. load are shown in the appendices.

Table 4. Applied load and final measured settlement

Applied Load (Tons)	
0	0.00
20	0.37
40	0.62
60	0.90
80	1.28
100	1.64
120	2.25
140	2.87
160	3.70
180	4.94
200	6.46
150	6.28
100	5.29
50	3.88
0	1.62

4. Conclusion

By examining the load-settlement curves for the test pile and adopting criteria to ensure the safety of the pile under the applied loads, it is found that:

– The test pile did not show any unnatural behavior in all phases of the test up to the application of load (200) tons with an average total settlement of (6.46) mm, which is within the allowable settlement limits and is approximately (1.29 %) of the pile diameter, which is less than 10% of the pile diameter and the behavior of the test pile is shown in the Appendix.

Consequently, this tested unreinforced Franchi pile with a diameter of (0.50) cm is adequate for the design load of (100) tons with a confident behavior.

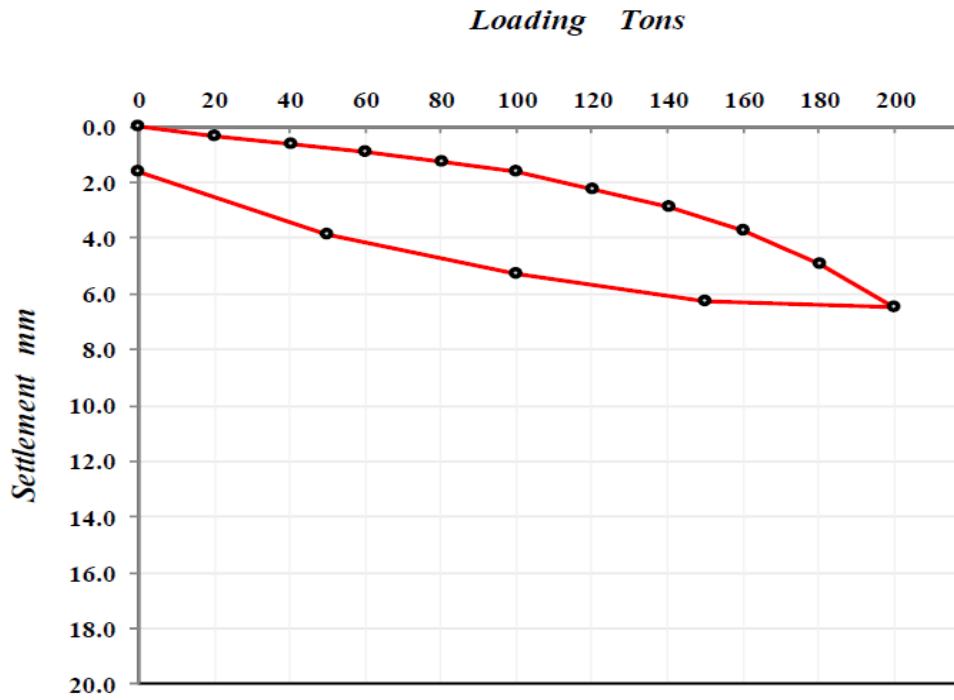
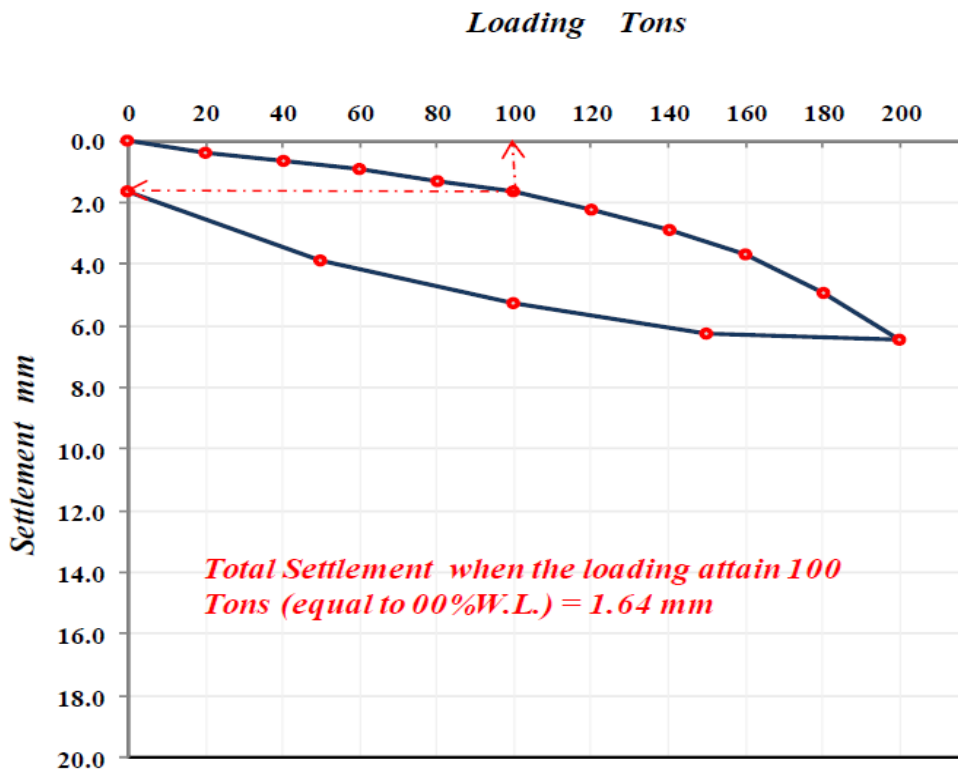


Figure 1. Load – settlement response of the pile Figure



2. Loading versus settlement for 200 % of design load

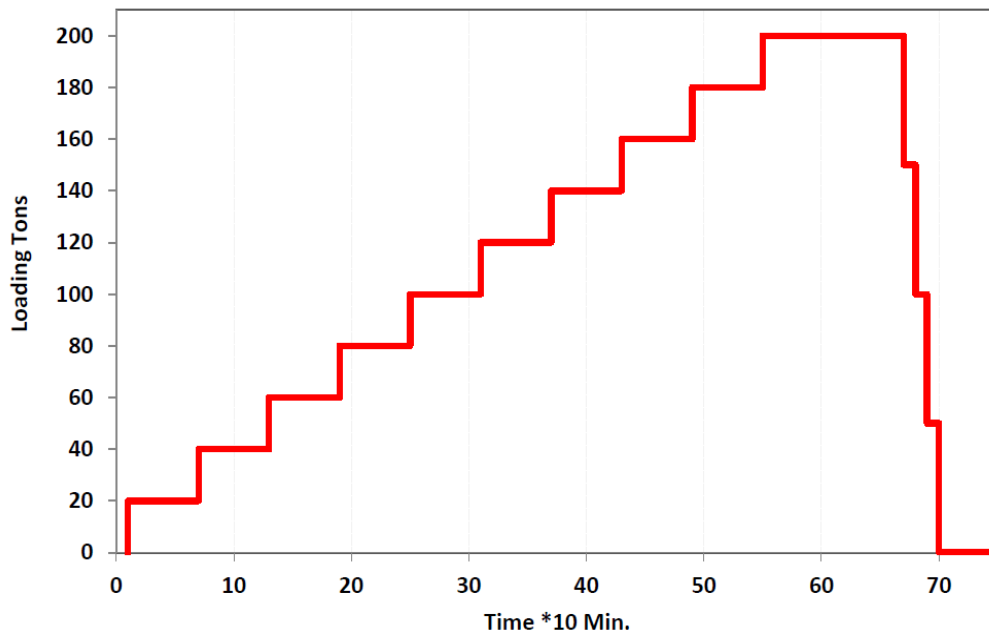
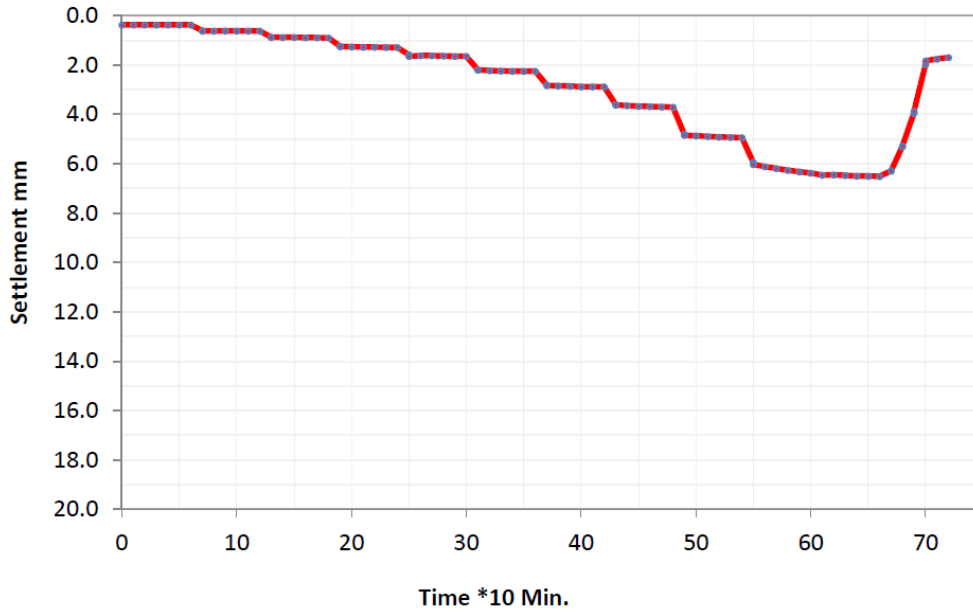


Figure 3. Loading versus time Figure



4. Settlement versus time

Author contribution:

M.Nurgozhina – conceptualization, approving of final version, funding acquisition

A.Zhussupbekov – analysis, writing

D.W. Chang – interpretation of results

D.Yu.Chunuyk – data collection, critical review of content

References

1. Rad S.H., Ghareh S., Eslami A. Experimental and field studies on the behavior of drilled displacement piles // Innovative Infrastructure Solutions 6, №188 – Springer Nature Switzerland, 2021. –P. 1-11.doi.org/10.1007/s41062-021-00557-2.
2. Basu P, Prezzi M., Basu D. Drilled Displacement Piles – Current Practice and Design // DFI Journal The Journal of the Deep Foundations Institute . Hawthorne, USA, 2010. – P. 3-20.
- 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, Vol. 24, Issue 105, 2023, pp. 11-17.
- 4.Yergen ASHKEY, Interaction of CFA bored piles with soil condition in Astana // A dissertation submitted in partial fulfillment of the requirements for the degree of DOCTOR OF PHILOSOPHY (Ph.D.) – Astana.: L.N. Gumileva ENU. -2008. – 52p.
5. Zhussupbekov A., Omarov A., Shakirova N., and Razueva D., Complex analysis of bored piles on LRT construction site in Astana. Lecture Notes in Civil Engineering, Vol. 49, 2020, pp.461–471.
6. A. Zh. Zhussupbekov and Y. Ashkey, T.Zh. Seidmarova, R.K. Bazilov, D.O. Bazarbayev, A.A. Zhussupbekov. “Geotechnical and Geodisaster problems in Kazakhstan”. Proceedings 4th International Conference on Disaster Prevention and Rehabilitation, 2007, (Indonesia, Semarang), 28-40 pp.
7. Zhussupbekov A. Zh., Ashkey Y., Geotekhnicheskij monitoring i razrabotka peredovyh tekhnologij ustrojstva svajnyh osnovanij zdaniy i sooruzhenij v slozhnyh gruntovyh usloviyah Kazahstana s uchetom trebovanij inzhenerno-geologicheskikh izyskanij. Zaklyuchitel’nyj otchet o nauchno-issledovatel’skoj rabote. NC NTI RK.- Astana, 2007.-62 s.- Inv. №0208RK0039.
8. Decourt, L. Behaviour of a CFA Pile in a Lateric Clay.Proceedings of the 4th International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles // BAP IV. Ghent, Belgium, 1993. - pp. 301-308.
9. A.B. Isakulov, A. Zh. Zhussupbekov, B.R. Isakulov, S. B. Isakov. Topyrak massivinin DDS tekhnologiyasy bojnsha ornatylgan byrgylanyp tolyrylgan qadalarymen ozara arekettesuin zertteu. Vestnik evrazijskogo nacional’nego universiteta imeni L.N.Gumileva. Seriya tekhnicheskije nauki i tekhnologii, Vol. №4, Issue 141, 2022, pp.19-29.
10. Omarov A., Kuderin M., Zhussupbekov A., Kaliakin N., and Isakov S., Vibration measurements at a new monument in Nursultan city. International Journal of GEOMATE, Vol. 11. Issue 85, 2021, pp.24–31 trebovanij inzhenerno-geologicheskikh izyskanij. Zaklyuchitel’nyj otchet o nauchno-issledovatel’skoj rabote. NC NTI RK.- Astana, 2007.-62 s.- Inv. №0208RK0039.
12. Decourt, L. Behaviour of a CFA Pile in a Lateric Clay.Proceedings of the 4th International Geotechnical Seminar on Deep Foundations on Bored and Auger Piles // BAP IV. Ghent, Belgium, 1993.- pp. 301-308.

13. A.B. Isakulov, A.Zh. Zhusupbekov, B.R. Isakulov, S.B. Iskakov. Topyrak massivinin DDS tekhnologiyasy bojnsha ornatylgan byrgylanyp tolytyrylgan qadalarymen ozara arekettesuin zertteu. Vestnik evrazijskogo nacional'nogo universiteta imeni L.N.Gumileva. Seriya tekhnicheskie nauki I tekhnologii, Vol. №4, Issue 141, 2022, pp.19-29

Күшейтілмеген Franchi (B4350) топырақ арматурасының қадасының статикалық жүктеме сынағы

М.Нургожина¹, А.Жусупбеков¹, Д.В. Чанг², Д.Ю.Чунюк³

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

²Тамканг университетінің «Азаматтық құрылыс» кафедрасының профессоры, Тайвань

³Мәскеу мемлекеттік құрылыс университеті, Мәскеу, Ресей Федерациясы

Аңдатпа. Микро қадалы бұрғылау технологиясы бүгінде іргетасы қатты жүктелген ғимараттарды қайта құру және жөндеу үшін жиі қолданылады. Орнатқаннан кейін қадалар осы жүктеменің бір бөлігін алады. Олар сондай-ақ құрылыс іргетасының көтергіштік қабілетін жоғарылату үшін олардың үстіне жоғарғы қабаттар салынғанға дейін немесе қосымша жер асты қабаттары салынғанға дейін пайдаланылуы мүмкін. Күрделі топырақты аймақтарда ғимараттар мен құрылыстарды салу ерекше жағдай болып табылады. Жерасты тау-кен жұмыстарын жүргізу, топырақтың қазылған кеңістікке жылжуы және жер бетінде жылжымалы науаның пайда болуы нәтижесінде осындай жағдайларда салынған ғимараттар пайдалану кезінде біркелкі емес отыруға және көлденең деформацияларға ұшырайды. Бұл жұмыста топырақты нығайтуға арналған арматураланбаған Франки микро қадасының (B-4350) далалық сынақтарының нәтижелері берілген. Алынған мәліметтерге сүйене отырып, реконструкцияланған ғимараттардың іргетасын нығайту үшін микро қадаларды пайдалану құрылыс шығындарын, еңбек шығындарын және құрылыс уақытын қысқартуды қамтамасыз етеді және соның нәтижесінде олардың даусыз тиімділігін көрсетеді деп қорытынды жасауға болады. Жолақты іргетастарды нығайту кезінде микроқадаларды қолдану дәстүрлі арматуралық жобамен салыстырғанда құрылыстың сметалық құнын (8 %-ға), негізінен машиналарды пайдалану құнының төмендеуіне (46 %-ға) және қысқартуға мүмкіндік береді. еңбекақыны (24%-ға) құрады, дегенмен материалдар құнының біршама өсуімен (28%-ға), бұл өзіндік құнның төмендеуінің жалпы тенденцияларын біршама теңестіреді.

Түйін сөздер: жалпы есеп айырысу, жүк көтергіштігі, статикалық жүктемені сынау, жүктемені реттеу

Испытание неармированной грунтоукрепительной сваи Franchi (B4350) на статическую нагрузку

М.Нургожина¹, А.Жусупбеков¹, Д.В. Чанг², Д.Ю.Чунюк³

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

²Тамкангский университет, Тайвань

³Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация

Аннотация. Технология бурения микросваи сегодня часто применяется при реконструкции и ремонте зданий, фундаменты которых сильно нагружены. После установки сваи принимают на себя часть этой нагрузки. Их также можно использовать для повышения несущей способности фундаментов зданий перед возведением над ними верхних этажей или перед устройством дополнительных подземных этажей. Особый случай – строительство зданий и сооружений на территориях со сложными грунтами. Здания, построенные в таких условиях, в результате подземных горных работ, перемещения грунта в выработанное пространство и образования на поверхности грунта смещающей впадины, в процессе эксплуатации подвергаются неравномерной осадке и горизонтальным деформациям. В данной статье представлены результаты полевых испытаний неармированной микросваи Франки (B-4350) для армирования грунта. На основании полученных данных можно сделать вывод, что применение микросваи для армирования фундаментов реконструируемых зданий обеспечивает снижение затрат на строительство, трудозатрат и сроков строительства и, как следствие, демонстрирует их неоспоримую эффективность. Применение микросваи при армировании ленточных фундаментов, по сравнению с традиционной конструкцией армирования, дает снижение сметной стоимости строительства (на 8 %), в основном за счет снижения затрат на эксплуатацию машин (на 46 %) и снижения заработной платы (на 24 %), хотя и с некоторым увеличением стоимости материалов (на 28 %), что несколько нивелирует общие тенденции снижения издержек.

Ключевые слова: полная осадка, несущая способность, испытание статической нагрузкой, расчетная нагрузка.

Information about the authors:

M.E.Nurgozhina – PhD Student of the Department of «Construction», L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, E-mail: malika_nur@list.ru

A.Zh. Zhusupbekov – Doctor of Technical Sciences, Researcher L.N. Gumilyov ENU Department of «Construction», L.N. Gumilyov ENU Department of «Construction». E-mail: astana-geostroi@mail.ru

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

D.Yu.Chunuyk – Department of Soil Mechanics and Geotechnics, Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation, E-mail: chunuyk@mail.ru

M.E.Нургожина – докторант кафедры «Строительство», Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, Астана, e-mail: malika_nur@list.ru

А.Ж. Жусупбеков – д.т.н., профессор кафедры «Строительство», Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, E-mail: astana-geostroi@mail.ru

Д.В. Чанг – PhD, профессор кафедры «Гражданское строительство», Тамкангский университет, E-mail: dwchang@mail.tku.edu.tw

Д.Ю. Чунюк – к.т.н., кафедра «Механика грунтов и геотехники», Московский государственный строительный университет, Москва, Российская Федерация, E-mail: chunuyk@mail.ru

М.Е.Нургожина – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының докторанты, Астана, Қазақстан, E-mail: malika_nur@list.ru

А.Ж.Жусупбеков – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің «Құрылыс» кафедрасының т.ғ.д., профессоры, Астана, Қазақстан, E-mail: astana-geostroi@mail.ru

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

Д.Ю. Чунюк – Топырақ механикасы және геотехникасы кафедрасының т.ғ.к., Мәскеу мемлекеттік құрылыс университеті, Мәскеу, Ресей Федерациясы, E-mail: chunuyk@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 67.25.25

Научная статья

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-111-122>

Реконструкция благоустройства и озеленения жилой застройки 70-80 гг. на юго-востоке города Караганды

И.А. Дхомане*^{id}, Ю.А. Борисевич^{id}

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Караганда, Казахстан

(E-mail: idhomane@mail.ru)

Аннотация. В статье рассматриваются вопросы реконструкции зеленых насаждений и благоустройства типовых дворовых пространств, не отвечающих современным запросам жителей и качествам современной жилой среды. Основные проблемы исследования – стихийность парковок, обезличенность территории, отсутствие дифференциации двора на зоны разнообразной социальной активности. Без четкого функционального зонирования жилого двора обесцениваются потенциальные возможности пустующих пространств, что приводит к ухудшению экологических и эстетических качеств жилых территорий, запустению и «отмиранию» зеленых рекреаций. Комфорт и безопасность микроклимата жилых территорий являются основой для формирования гармоничной среды в многоэтажной жилой застройке. В ходе исследования проводилось анкетирование и опрос жителей микрорайона, функциональный анализ существующих жилых территорий. На основе этой информации и аналогов озеленения и благоустройства жилых дворов Южной Кореи приводятся выводы о сходстве и различии подходов, а также формируется концептуальное предложение. Концепт реконструкции жилого двора представляет собой единую систему принципов гуманизации жилой среды города минимальными средствами благоустройства, с использованием «резервных территорий» и региональных природно-климатических особенностей.

Ключевые слова: гуманизация жилой среды, реконструкция озеленения и благоустройства, модернизация, градостроительство устойчивое развитие.

Поступила 2.10.2023 Доработана 5.06.2024 Одобрена 11.06.2024 Доступна онлайн 30.06.2024

* автор для корреспонденции

Введение

Город Караганда, как и большинство индустриальных центров СНГ, был спроектирован согласно планировочным стандартам, опирающимся на плановую экономику и социалистические реалии действительности.

С течением времени городская среда претерпела значительные изменения в ходе развития рыночных отношений и частного предпринимательства. Прошлые стандарты и условия перестали быть актуальными и требуют внесения изменений и реконструкции на комплексном уровне, включая урбанизацию и градостроительство.

Сравнительно молодой город Караганда, возникший на базе угольной промышленности в 1932 году, обладает несколькими видами жилой застройки, характеризующими исторические периоды.

Например, часть «старого» города включает «Сталинскую» архитектуру кварталов 40-50-х годов, а также микрорайоны с типовыми безлифтовыми домами первых массовых серий.

«Новый» город - типовые микрорайоны девятиэтажной застройки и новостройки до 20-25 этажей на Юго-Востоке.

Все эти жилые массивы обладают рядом положительных и отрицательных качеств, которые следует учитывать при реконструкции зеленых насаждений и благоустройстве.

Цель данного исследования – формирование концептуального решения по реконструкции благоустройства и озеленения в условиях многоэтажной городской застройки.

Задачами исследования является:

- выявление проблем озеленения жилых пространств;
- выработка четких механизмов по решению проблем озеленения жилых территорий;
- построение единой системы критериев для реконструкции зеленых насаждений и благоустройства.

Научный интерес представляет вопрос реорганизации и адаптации дворовых пространств индустриального домостроения, периода 70-х-80-х гг. прошлого столетия, в современных условиях социально-экономического развития городской среды, с учетом ряда параметров, определяющих практические планировочные требования к системе благоустройства жилых зон. В данные параметры входят: учет возрастных групп, увеличение социальной активности людей, обеспечение жителей объектами, берущими на себя социально-бытовую функцию, помимо социальной части, система благоустройства должна способствовать улучшению санитарно-гигиенического и экологического состояния территории на протяжении всего времени эксплуатации объекта [1].

В качестве практического подхода будет предложено новое видение по реорганизации дворовых пространств, которое даёт возможность адаптировать жилые здания и прилегающие дворовые пространства путём архитектурно-художественных сооружений и озеленения, гармонично вписывающихся в общую картину дворовой территории, не нарушая целостности восприятия композиционной организации.

Методология

В исследовании рассмотрены пространства жилых дворов Юго-Востока с многоэтажной застройкой и обширными дворами, не имеющими рационального функционального зонирования и часто лишенными зелеными насаждений.

Основной проблемой таких жилых пространств является «обезличенность» территории жилого двора, который не имеет принадлежности какому-то конкретному межсоседскому сообществу. Обобщественность жилых территорий часто приводит к запустению в условиях отсутствия качественного управления коммунальными службами и системой ЖКХ [2], рисунок 1.



Рисунок 1. Анализ дворовых пространств в районе Юго-Востока г. Караганды жилой застройки 70-х-80-х гг.

Второй проблемой является стихийность парковки автомобилей, отсутствие достаточного количества парковочных мест и перегруженность внутреннего периметра двора автотранспортом [2], рисунок 2.

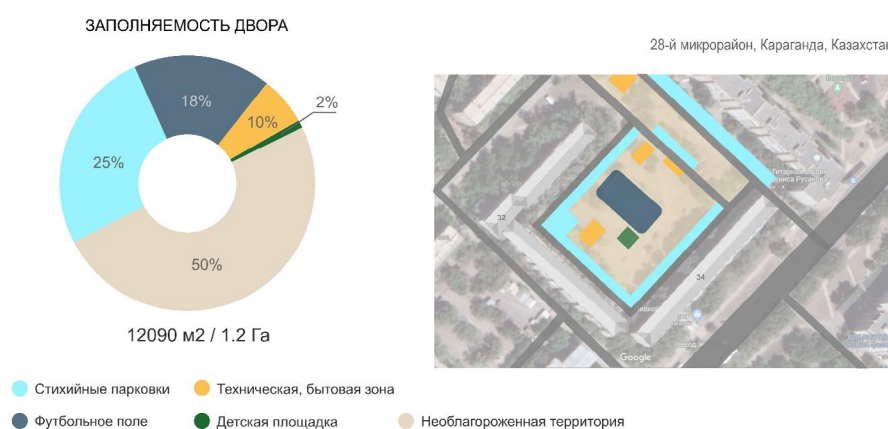


Рисунок 2. Общее заключение по территориальному использованию дворовых пространств

Третья проблема – отсутствие качественного подхода к дифференциации озеленения и благоустройства. Зонирование жилых пространств требует выявления общественного, общедворового и индивидуального зонирования [2], рисунок 3.



Рисунок 3. Функциональный анализ существующих внутридворовых пространств

На рисунке видно, что зонирование на общественную, дворовую и частную зоны отсутствует, не определены места гостевых и постоянных стоянок, существуют только 2 зоны: транспортная и общедворовая - пешеходная.

Все это осложняет ситуацию, есть много свободного места, но активные зоны малы, а большие пространства не задействованы.

Результаты и Обсуждение

Был проведен функциональный анализ жилых дворов Юго-Востока, а также анкетирование и опрос жителей микрорайона по актуальности существующего благоустройства, рисунок 4.



Рисунок 4. Анкетирование жителей по актуальности существующего благоустройства

В ходе опроса и анализа выяснилось, что наиболее активно используются детские и спортплощадки, занимающие часто минимальный процент от общей территории, где наиболее большой процент территории занимает пустое пространство не участвующее в жизни и досуге жителей, рисунок 5. Так происходит в ходе нерационального зонирования и озеленения жилых пространств.

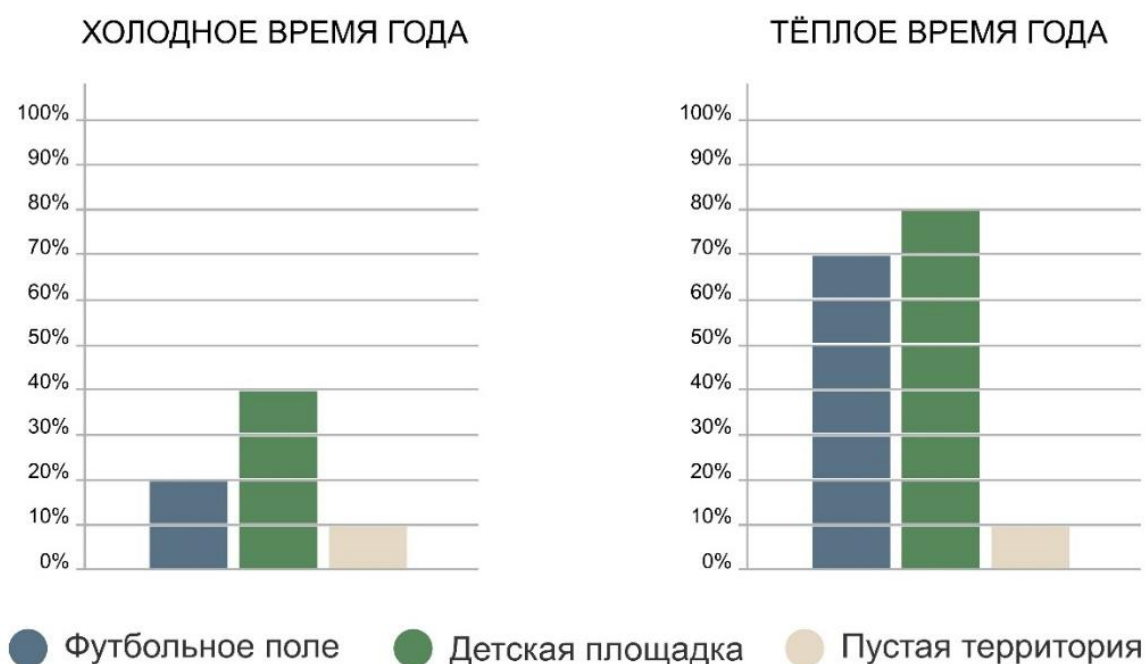


Рисунок 5. Анализ использования зон дворового пространства по сезонам

Сегодня самой глобальной проблемой городов является переполнение жилых дворов автомобилями, решить ее кардинально возможно только на градостроительном уровне с применением методик развития устойчивой городской среды. Также значительное улучшение ситуации возможно на локальном уровне, применяя средства гуманизации городского пространства.

Рассмотрим и проанализируем придворовые территории на примере небольшого промышленного города под названием Хвасон, одного из районов с жилыми комплексами под названием Lunn (рисунок 6). На рисунке 6 в первую очередь можно наблюдать четкую организацию современного жилого микрорайона с комплексным подходом при проектировании жилых микрорайонов, включающих не только наземные, но и подземные зоны. Микрорайон четко разделен на секции, между секциями располагаются средняя и младшая школы, а по центру данных секций мы наблюдаем обширную парковую зону. Дворовые территории данных микрорайонов обязательно включают подземный паркинг, тщательно продуманную ландшафтную архитектуру с зонами отдыха, детскими игровыми площадками и спортивными зонами.

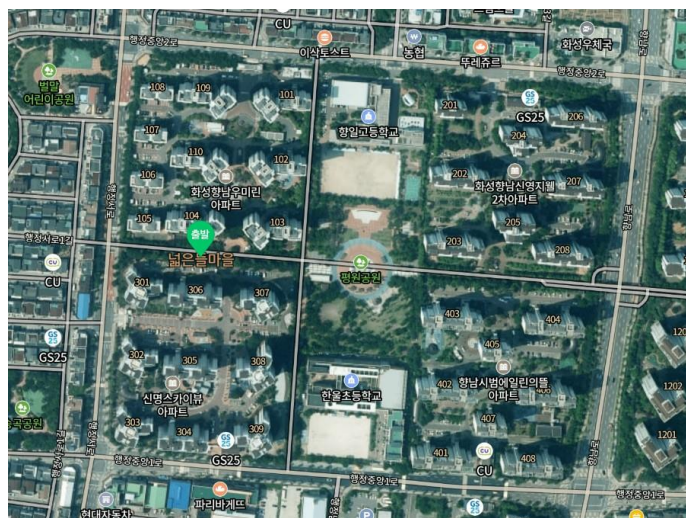


Рисунок 6. Жилой район промышленного городка Хвасон в Южной Корее

Несмотря на высокий уровень автомобилизации, парковочные зоны надземной части внутри района четко регламентированы. Не наблюдается избыточного использования надземного пространства для стоянки личного автотранспорта, т.к. эффективно организованы подземные паркинги, располагающиеся, как правило, под зоной газонов и зеленых насаждений с зонами отдыха. Также над подземным паркингом или между домами может располагаться небольшое здание общественного центра (Community Center) [3], в котором имеется фитнес-центр для жителей близлежащих домов, желающих проводить активный спортивный отдых, рисунок 7.

В Корее в современных жилых застройках такого типа располагается то или иное общественно полезное здание небольших масштабов, обеспечивающее удобство и качество жизни жителей прилежащих домов. Например, очень распространены мини детские сады, несмотря на то, что имеются и крупные районные детские сады в шаговой доступности. Такие мини детские сады очень облегчают жизнь родителям, так как здание находится в самом дворе, рисунок 8.



Рисунок 7. Въезд в подземную парковку в жилой застройке Lunn. Над въездом располагается общественный спортивный центр

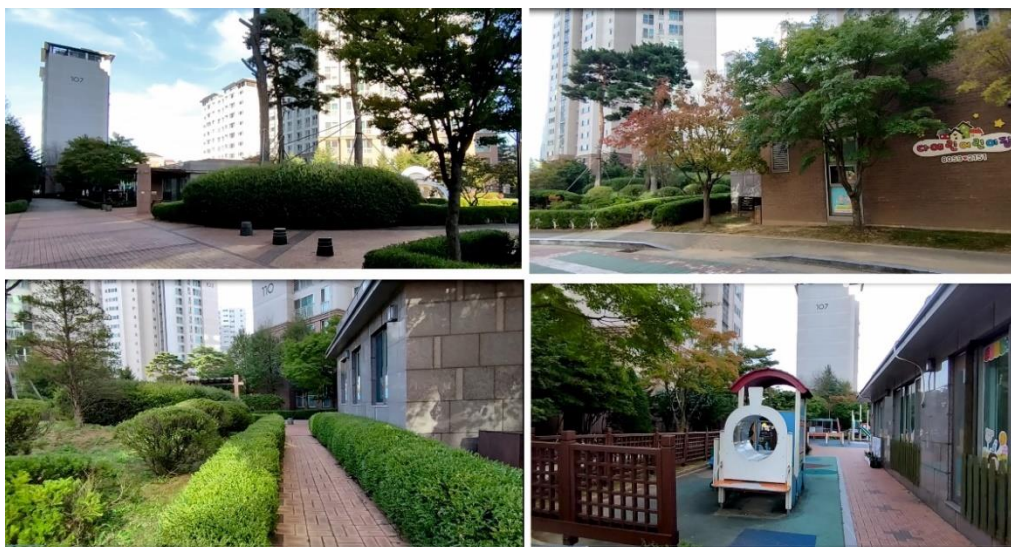


Рисунок 8. Небольшое строение для мини детского сада на придворовой территории

Придомовые территории жилой застройки Южной Кореи соответствуют всем современным требованиям зеленого строительства. Они организованы как парковые зоны, включающие в себя такие элементы, как небольшие искусственные пруды с мостиками над ними, зоны отдыха с беседками (рисунок 9). Тематически и композиционно дворы не изолированы друг от друга, органично объединяются между собой системой аллеек, дорожек, лестниц и мостиков, аккуратно подстриженных газонов с кустами.

Несомненно, если бы дворовым территориям не уделялось такого внимания, промышленные города имели бы очень унылую и депрессивную атмосферу. Именно активное привнесение природы в ткань городских пространств позволило добиться высокого качества и эстетической значимости жилой застройки [3].

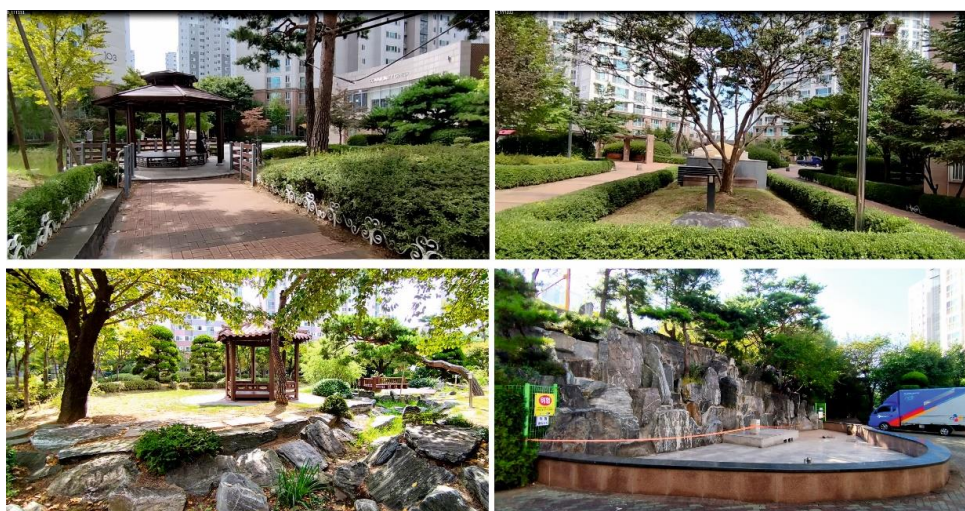


Рисунок 9. Композиционное оформление ландшафта с использованием природных материалов в придворовых территориях города Хвасон, Корея

Жители высотных домов, спускаясь вниз на лифте, сразу же погружаются в атмосферу тенистого парка, где можно отдохнуть после сложного трудового дня, полюбоваться и зарядиться энергией от красоты природы, заняться активными видами спорта [3].

Каждый вид зеленых насаждений тщательно продуман для лучшей реализации композиционной идеи, эффектно дополняет урбанизированную среду, создавая неповторимую атмосферу жилого пространства.

Заключение

На основе приведенного примера очевидно, что решение вопросов озеленения и комплексного благоустройства жилой среды закладывается на уровне градостроительного проектирования и планирования. Система обслуживания должна иметь не только централизованный характер, но и может быть рассредоточена в виде небольших частных детских садов, социальных учреждений и спортивных клубов по всей территории микрорайона, формируя его благоустройство.

Ввиду высокой плотности застройки применяется вертикальное зонирование [4], когда технические, бытовые помещения и паркинги располагают в подземных или полуподземных пространствах, размещая сверху озеленение и детские площадки. Часть зоны отдыха при необходимости может быть вынесена на кровлю здания или даже на этаж, если позволяют климатические условия и допустимо проектировать этаж с высоким проветриваемым озелененным пространством, что характерно для высотных зданий в условиях дефицита участка застройки.

Также следует обратить внимание на качество управления и организации сети коммунальных служб, при которой за зелеными насаждениями ведется тщательный уход.

Применительно к условиям города Караганды с уже существующей застройкой, ограниченным бюджетом для реконструкции и резко континентальным климатом, многое из вышеприведенного материала будет сложно и дорого воплотить в жизнь.

Следовательно, требуется компромиссное решение, более адаптированное к нашим реалиям.

Пути преодоления проблем могут стать простые решения:

- Жилая среда должна быть социально дифференцирована на общую (или публичную), дворовую и приватную зоны, пребывание в которых различно по продолжительности и наполнению событиями.

- В условиях ограниченного бюджета в качестве замены дорогих подземных паркингов использовать ярусные конструкции навесов над наземными парковками.

- Пересмотреть организацию транспортно-пешеходной сети в пользу формирования пешеходных тротуаров вдоль проезжей части двора.

- Организовать парковочные карманы вдоль внутривдворового проезда;

- Осуществить подбор многолетних растений, соответствующих резко континентальному климату и почвам нашего региона.

- Использовать в озеленении жилой среды приемы геопластики и многолетние, не требующие ежедневного полива и ухода травянистые насаждения из естественной флоры региона.

– Применять различные виды конструкций из дерева в качестве навесов и беседок в организации детских площадок.

– Гостевые парковки или мини стоянки могут иметь навесы от осадков и солнца, что улучшит сохранность автомобилей и улучшит вид из окна.

Планировочные решения типовых микрорайонов города Караганды обладают хорошим потенциалом «резервных территорий», которые находятся за пределами жилого двора и не участвуют в общественной жизни, являясь рекреационными зонами.

В зависимости от ширины и пропорций таких зон они могут быть оснащены различным спортивным игровым оборудованием или комбинированной конструкцией, например: паркинг плюс спортплощадка на кровле, плюс магазин или дворовой клуб. Такие зоны общедоступны и являются публичными или общими для микрорайона.

Внутривидовое пространство создано для межсоседского сообщества, оно более закрыто, безопасно и защищено от внешней среды города. Рассматривая стихийную парковку во дворе, можно увидеть, что основная масса автомобилей припаркована у подъездов вдоль проезжей части [5] и является фактором риска для детей и пешеходов, неблагоприятно влияет на экологию и микроклимат, эстетику видовых панорам.

Следовательно, необходимо выделить для автомобилей гостевую парковку, запроектировать тротуар для пешеходов и отделить его зелеными насаждениями. Здесь нужно избегать сквозных проездов, выносить автостоянки на внешний периметр двора по возможности.

Личные или индивидуальные зоны - это палисадники и приквартирные участки первых этажей [6], где ставятся декоративные ограждения, разбиваются клумбы, устанавливаются скамьи и благоустраиваются зоны при подъездах, создавая общий уют для жилой среды.

Тем самым создается гармоничное сочетание благоустройства, позволяющее рационально и комфортно использовать территорию застройки каждому из жителей различных возрастных и социальных категорий.

Вклад авторов

И.А. Дхомане – концепция, методология, сбор данных

Ю.А. Борисевич – моделирование, анализ, визуализация, заключение.

Список литературы

1. Цитман Т. О., Поташова М. Д., Петунина С. М. Благоустройство дворовых территорий в районах жилой застройки // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань : ГАОУ АО ВО «АГАСУ», 2017. № 2 (20). С. 103–114.

2. Жусупбеков А.Ж., Дхомане И.А. Существующие проблемы дворовых территорий в Казахстане на примере города Караганды // Вестник КазГАСА, научный журнал. 2022. № 3 (85), С. 30-37.

3. Timothy Beatley. Biophilic cities: integrating nature into urban design and planning. Island Press. ISBN-13: 978-1-59726-714-4. 2016

4. Егорова И.А., Четошников В.Д., Жуковский Р.С. Архитектурно-пространственная организация дворовых пространств в жилой застройке в условиях континентального климата // Инженерно-строительный вестник Прикаспия: научно-технический журнал / Астраханский государственный архитектурно-строительный университет. Астрахань: ГАОУ АО ВО«АГАСУ», 2017. № 3 (21). С. 5–14.

5. Сидорова В.В. Комплексный подход к реконструкции дворовых пространств многоэтажной жилой застройки 1970–90-х годов XX века / В.В. Сидорова, О.Л. Чубова // Architecture and Modern Information Technologies. – 2017. – №3(40). – С. 200-214 [Электронный ресурс]. – Режим доступа: http://marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/15_sidorova-chubova/index.php

6. Дорофеева Н.Н., Дорофеев Е.П., Гарнага А.Ф. Проблемы социально-пространственной структуры дворовых территорий в зоне массовой жилой застройки // «Инновации и инвестиции». № 10. 2020 г.

И.А. Дхомане, Ю.А. Борисевич

*Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті
Қарағанды, Қазақстан*

Қарағанды қаласының оңтүстік шығысындағы 70-80 жж. тұрғын үйлерді абаттандыру мен жасылдандыруды қайта құру

Аңдатпа. Мақалада тұрғындардың заманауи қажеттіліктері мен заманауи өмір сүру ортасының сапасына сәйкес келмейтін жасыл аумақтарды қайта құру және типтік аулалық кеңістіктерді жақсарту мәселелері талқыланады.

Зерттеудің негізгі проблемалары - автотұрақтардың стихиялылығы, аумақтың жеке еместігі, ауланың әртүрлі элеуметтік белсенділік аймақтарына бөлінбеуі. Тұрғын үй ауласын нақты функционалдық аймақтарға бөлусіз бос кеңістіктердің әлеуеті құнсызданады, бұл тұрғын аудандардың экологиялық және эстетикалық қасиеттерінің нашарлауына, жасыл рекреациялық аймақтардың қаңырап бос қалуына және «өлуіне» әкеледі. Тұрғын аудандардың микроклиматының жайлылығы мен қауіпсіздігі көпқабатты тұрғын үйлерде үйлесімді ортаны қалыптастырудың негізі болып табылады.

Зерттеу барысында шағын аудан тұрғындары арасында сауалнама жүргізіліп, сауалнама жүргізілді, сондай-ақ қолданыстағы тұрғын үй аумақтарына функционалдық талдау жасалды. Осы мәліметтер мен Оңтүстік Кореядағы тұрғын үй аулаларын абаттандыру мен абаттандырудың аналогтары негізінде тәсілдердегі ұқсастықтар мен айырмашылықтар туралы қорытындылар жасалып, тұжырымдамалық ұсыныс қалыптастырылды.

Тұрғын үй ауласын реконструкциялау тұжырымдамасы «қорық аумақтарды» және аймақтық табиғи-климаттық ерекшеліктерді пайдалана отырып, ең аз абаттандыру құралдарымен қаланың тұрғын үй ортасын ізгілендіру принциптерінің бірыңғай жүйесі болып табылады.

Түйін сөздер: өмір сүру ортасын ізгілендіру, абаттандыру мен абаттандыруды қайта құру, жаңғырту, қала құрылысы, тұрақты даму

I.A. Dxomane, Yu.A. Borisevich

*Karaganda Technical University named after Abylkas Saginov
Karaganda, Kazakhstan*

**Reconstruction of landscaping and planting of residential developments
of the 70-80s. in the south-east of Karaganda city**

Abstract. The article discusses the issues of reconstruction of green spaces and improvement of typical courtyard spaces that do not meet the modern needs of residents and the qualities of a modern living environment.

The main problems of the study are the spontaneity of parking, the impersonality of the territory, and the lack of differentiation of the yard into zones for diverse social activities. Without clear functional zoning of a residential yard, the potential of empty spaces is devalued, which leads to a deterioration in the environmental and aesthetic qualities of residential areas, desolation and the “dying away” of green recreation areas. The comfort and safety of the microclimate of residential areas are the basis for the formation of a harmonious environment in multi-storey residential buildings.

During the study, a questionnaires and surveys of neighborhood residents were conducted, as well as a functional analysis of existing residential areas. Based on aforementioned information and analogues of landscaping and improvement of residential courtyards in South Korea, conclusions are drawn regarding the similarities and differences in approaches, and a conceptual proposal is formed.

The concept for the reconstruction of a residential courtyard is a unified system of principles for humanizing the city’s residential environment with minimal means of improvement, using “reserve territories” and regional natural and climatic features.

Key words: humanization of the living environment, reconstruction of landscaping and improvement, modernization, urban planning, sustainable development.

References

1. Citman T. O., Potashova M. D., Petunina S. M. Blagoustrojstvo dvorovy`x territorij v rajonax zhiloy zastrojki, Inzhe-nerno-stroitel`ny`j vestnik Prikaspiya: nauchno-texnicheskij zhurnal, Astraxanskij gosudarstvenny`j arxitekturno-stroitel`ny`j universitet. Astraxan` : GAOU AO VO «AGASU», 2 (20), 103–114 (2017).
2. Zhusupbekov A.Zh., Dxomane I.A. Sushhestvuyushhie problemy` dvorovy`x territorij v Kazaxstane na primere goroda Karagandy`, Vestnik KazGASA, nauchny`j zhurnal, 3 (85), 30-37 (2022).
3. Timothy Beatley. Biophilic cities: integrating nature into urban design and planning. Island Press. (ISBN-13: 978-1-59726-714-4. 2016) [in English].
4. Egorova I.A., Chetoshnikov V.D., Zhukovskij R.S. Arxitekturno-prostranstvennaya organizaciya dvorovy`x prostranstv v zhiloy zastrojke v usloviyax kontinental`nogo klimata, Inzhenerno-stroitel`ny`j vestnik Prikaspiya: nauchno-texnicheskij zhurnal, Astraxanskij gosudarstvenny`j arxitekturno-stroitel`ny`j universitet. Astraxan` : GAOU AO VO«AGASU», 3 (21), 5–14 (2017).
5. Sidorova V.V. Kompleksny`j podxod k rekonstrukcii dvorovy`x prostranstv mnogoe`tazhnoj zhiloy zastrojki 1970–90 godov XX veka, V.V. Sidorova, O.L. Chubova, Architecture and Modern

Information Technologies, 3(40), 200-214 (2017). [Electronic resource]. Available at: http://marhi.ru/AMIT/2017/3kvart17/15_sidorova-chubova/index.php (Accessed: 15.08.2017).

6. Dorofeeva N.N., Dorofeev E.P., Garnaga A.F. Problemy` social`no-prostranstvennoj struktury` dvorovy`x territorij v zone massovoj zhiloz zastrojki. «Innovacii i investicii», 10, (2020).

Сведения об авторах

***Дхомане И.А.** – магистр технических наук, заведующий кафедрой Аид КарТУ имени Абылкаса Сагинова idthomane@mail.ru

Борисевич Ю.А. – м.т.н., старший преподаватель, julya-2006@list.ru

Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, Казахстан, 100027, Караганда, пр. Н. Назарбаева, 56

***Дхомане И.А.** – техника ғылымдарының магистрі, Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті бөлім бастығы СЖД idthomane@mail.ru

Борисевич Ю.А. – техника ғылымдарының магистрі, аға оқытушы, julya-2006@list.ru

Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті, Қазақстан, 100027, Қарағанды қ., Н.Назарбаев даңғылы, 56

***Dhomane I.A.** – Master of Technical Sciences, Head of the Department of Architecture and Design, Abylkas Saginov Karaganda Technical University idthomane@mail.ru

Borisevich J.A. – Master of Technical Sciences, senior lecturer, julya-2006@list.ru

Abylkas Saginov Karaganda Technical University, Kazakhstan, 100027, Karaganda, N. Nazarbayev Ave., 56



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/>).



ХҒТАР 84.01.05

Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-123-136>

Бұйымдарды жобалау кезіндегі сапаны басқару әдістерін талдау

А.С. Мадиярова^{ID}, А.З. Букаева*^{ID}, Н.Б. Суйеуова^{ID}, М.М. Чажбаева^{ID},
Г.С. Биладшова^{ID}

«Ш. Есенов атындағы Каспий технология және инжиниринг университеті» КеАҚ, Ақтау, Қазақстан

(E-mail: almira.madiyarova@yu.edu.kz)

Аңдатпа. Қазіргі кезеңде ҚР экономикасын дамытуда бұйымдардың бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз ету мақсатында машина жасау кешенді кәсіпорындары бұйымдардың техникалық сипаттамаларын қалыптастыруда көрініс табатын тапсырыс берушілердің талаптарын барынша қанағаттандыру міндеттерін шешуге ерекше назар аударады. Мақалада бұйымды жобалау кезінде сапаны басқарудың қолданыстағы әдістеріне талдау жасалды. Бұйымның бәсекеге қабілеттілігі жобалау процесінің сапасына: жобалау кезінде қойылған мақсаттардың дәлдігіне және тұтынушының осы бұйымға қоятын талаптарын қанағаттандыру тұрғысына, оларға қол жеткізу деңгейіне байланысты. Зерттеулерге сәйкес, бұйымды өндіру және пайдалану процесінде анықталған ақаулар барлық ақаулардың 70%-ын құрайды, бұл өндірісті жоспарлау, жобалау және дайындау процестерінің сапасының деңгейінің төмендігіне байланысты. Сапа параметрлері неғұрлым ертерек анықталса және тіркелсе, қажетті сапа сипаттамалары бар түпкілікті бұйымды алу үшін ресурстар, уақытша және қаржылық ресурстар азаяды. Өнімді жобалау кезеңінде сапаны басқару әдістерін талдау бөлігінде жүргізілген зерттеулер келесі артықшылықтарға ие сапа функциясын орналастыру (СФО) әдісін анықтауға мүмкіндік берді: ақаулық шығындарын азайту, тұтынушылардың қажеттіліктерін барынша қанағаттандыру арқылы нарықты қамтамасыз ету немесе кеңейту арқылы бәсекеге қабілеттілікті арттыру. Әдістің кемшіліктеріне аралық және қорытынды сараптамалық шешімдерді қабылдаудың реттелмеген тәртібі жатады.

Түйін сөздер: сапа менеджменті, техникалық сипаттамалары, параметрлері, бұйымның бәсекеге қабілеттілігі, бұйымды жобалау.

Түсті 3.10.2023 Жөнделді 10.06.2024 Мақұлданды 20.06.2024 Онлайн қолжетімді 30.06.2024

* хат-хабар үшін автор

Кіріспе

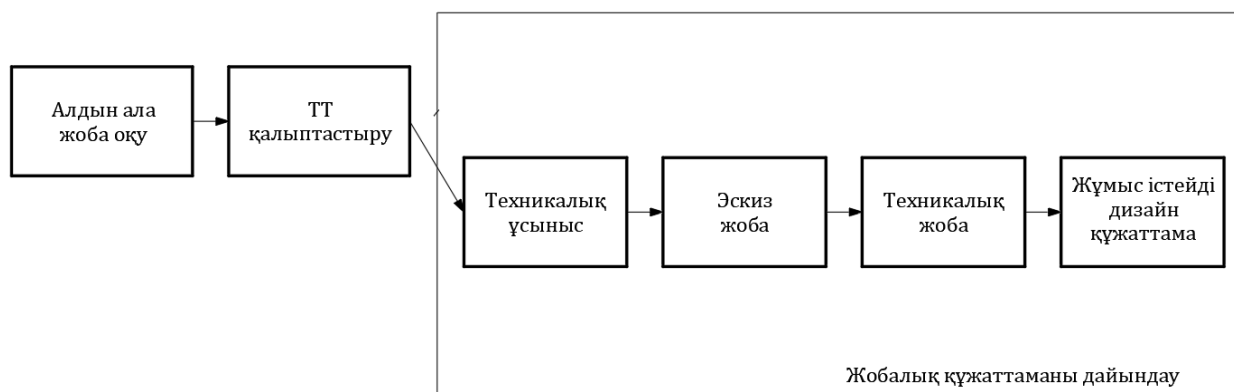
Қазіргі уақытта халықаралық экономикалық дағдарыс пен бағалық емес бәсекелестік жағдайында бұйымдардың бәсекеге қабілеттілігін арттыру ерекше өзекті мәселе болып есептеледі. Бәсекеге қабілеттілікті басқару әдістері мен құралдарын қолданатын кәсіпорындар нарықтық экономика сегменттерінде жетекші орын алады. Жаңа бұйымды әзірлеу немесе қолда барын модернизациялау кезінде оның техникалық сипаттамаларының құрамы мен мәндеріне қойылатын талаптарды белгілеу басты басқару шешімі болып табылады. Мақсатты техникалық сипаттамаларды таңдау тапсырыс берушінің талаптарына сәйкес бұйымның тиісті сапасын қамтамасыз ететін маңызды жобалық шешім болып табылады.

Машина жасаудағы техникалық күрделі бұйымдарды әзірлеу кезінде маңызды мәселелердің бірі - бұйымды әзірлеуге арналған техникалық тапсырмада қалыптасқан ұтымды талаптарды қалыптастыру болып табылады. Бұл кезең түбегейлі маңызды, өйткені оған бұйымның маңызды функционалды техникалық сипаттамалары салынады, әзірленетін бұйымның сыртқы түрі мен шешімдері, оның кейінгі тиімділігі және сайып келгенде бәсекеге қабілеттілігі анықталады. Осы кезеңде жіберілген қателіктер сұраныстың төмендеуіне әкеледі, сонымен қатар дамудың келесі кезеңдеріндегі түзетулерге айтарлықтай қаржылық және уақыт шығындары жұмсалуды мүмкін.

Әдіснама

Зерттеу статистикалық, логикалық талдау әдістері және сапа функцияларын қолдану әдістері сияқты жалпы ғылыми зерттеу әдістерін қолдана отырып жүргізілді.

Машина жасау кәсіпорындарында бұйымдарды жобалау процесі (1-сурет).



Сурет 1. Бұйымдарды жобалау процесі

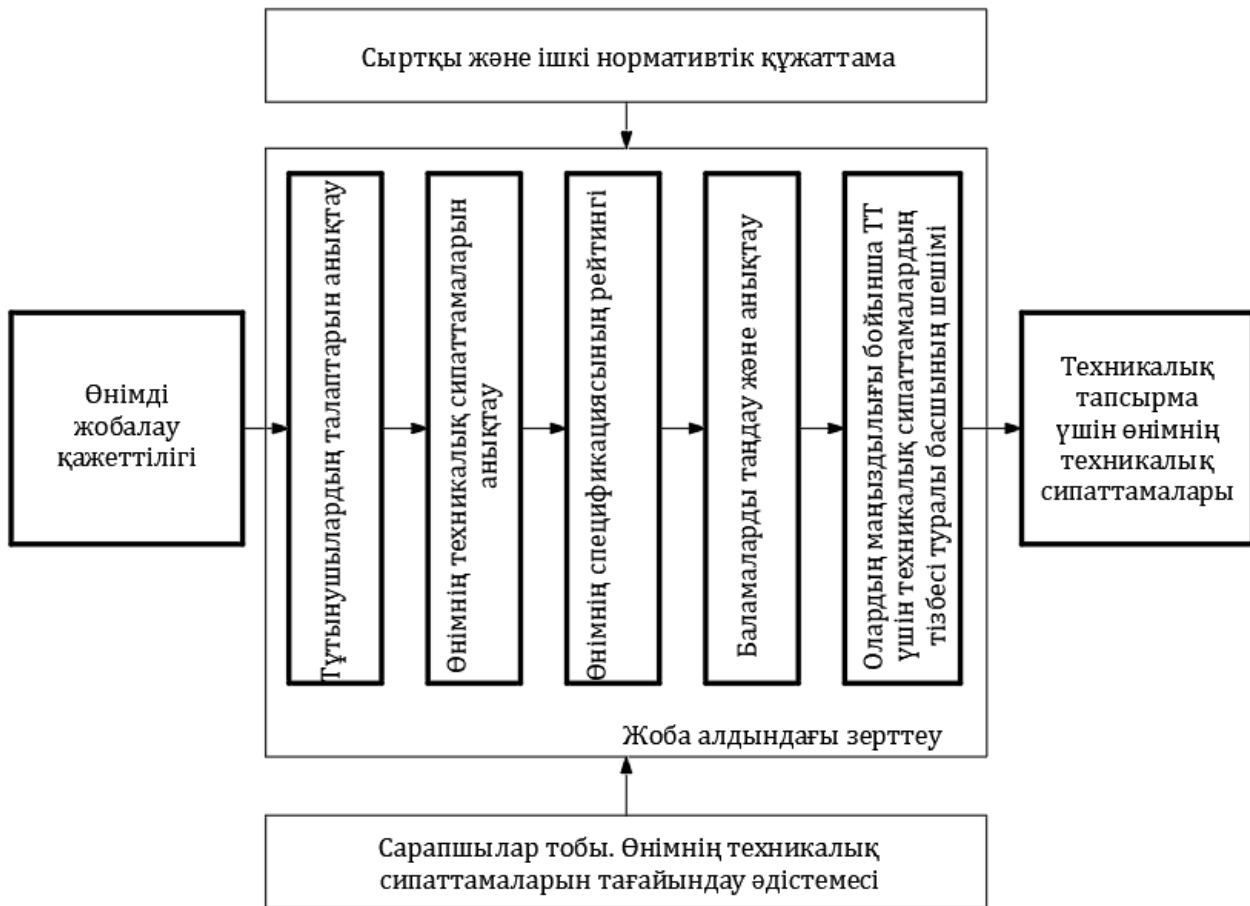
Жобалау саласындағы талданған ғылыми әдебиеттер негізінде жобалау алдындағы зерттеу процесінің түсініктемесі тұжырымдалды: бұйымның жобалау қажеттілігі анықталған сәттен бастап бұйымды жобалауға техникалық тапсырма бекітілгенге дейін басым техникалық сипаттамаларын сәйкестендіру жөніндегі іс-шаралар жиынтығы [1].

Жоба алдындағы зерттеу процесі 2-суретте көрсетілген.

Кіріс деректері: тапсырыс берушінің бұйымға қойылатын талаптары тұжырымдалған өтінімі; қоғамның дамуының әлеуметтік, саяси, экономикалық және техникалық деңгейі; экологиялық факторлар болып табылады. Шығу деректері: техникалық тапсырманы қалыптастыру үшін өнімнің техникалық сипаттамаларының мақсатты мәндері.

Жобалау алдындағы зерттеу процесінің мақсаты тапсырыс берушінің талаптарын іске асыруды қамтамасыз ететін бұйымның техникалық сипаттамаларын анықтау болып табылады. Аталған мақсатқа өнімді жобалау кезінде сапаны басқару әдістері негізінде кәсіпорынның бәсекеге қабілеттілік тетіктерін қолдану арқылы қол жеткізуге болады.

Сондықтан кәсіпорынның жаңа бұйымды жобалау немесе жетілдіру кезінде негізі болатын әдістерді анықтау қажет [2]. Бұл жағдайда әдістер жобалау мәселелерін оңтайлы шешуді қамтамасыз етуі керек.



Сурет 2. Жоба алдындағы зерттеу процесі

Жүргізілген зерттеулер бұйымды жобалау процесін оңтайландыруға мүмкіндік беретін келесі әдістерді бөліп көрсетуге мүмкіндік берді: функционалды-құндық талдау; функцияларды жүйелік талдау әдістемесі; функционалды-физикалық талдау; FMEA-талдау; сапа функцияларын орналастыру технологиясы.

Функционалды-құндық талдау (ФҚТ) әдісі объектіні жүйелі зерттеу арқылы пайдалылық пен өзіндік құнның оңтайлы арақатынасына қол жеткізуден тұрады.

ФҚТ мақсаты – компанияның шығындарын тиімді басқаруға мүмкіндік беретін тікелей және жанама шығындар бойынша объектіні өндіруге жұмсалатын қаражаттың дәл бөлінуін қамтамасыз ету [3].

Типтік жұмыс жоспары үш кезеңнен тұрады: дайындық, аналитикалық және қорытындылау кезеңдері.

Дайындық кезеңінде тапсырманың негіздемесі тексеріледі, оның нақты тұжырымы мен мақсаты, ФҚТ жүргізу үшін ресурстармен қамтамасыз етіледі. Сондай-ақ, ФҚТ әдісінде объекті туралы барлық ақпаратты талдау қажет етіледі.

Бұл кезеңде объектіні өндіруге қажетті функциялардың реттілігі анықталады. Функциялардың ең оңтайлы құрылымы объектінің құндылығына қатысты ең маңызды функцияларды анықтау арқылы жасалады. Осылайша, бұл кезеңде шығындар азаяды.

Аналитикалық кезеңде объект функцияларының моделін қалыптастыру, әр функцияны іске асыру үшін міндеттерді анықтау және оларды қою қажет. Осыдан кейін объектіні жетілдіруге бағытталған ұсыныстар кешені әзірленеді, олардың тиімділігі анықталады және болашақта объектінің даму перспективалары болжанады.

Жүргізілген жұмыстың нәтижелері бойынша жоспарланған кірісті бағалау қажет. Ол үшін бірқатар мәселелерді шешу керек: нарық бағасының деңгейі мен жоспарланған пайда туралы ақпарат негізінде объектінің оңтайлы бағасын анықтау; объектінің өндіріс функцияларына байланысты шығындарға жоспарланған үстемеақыны анықтау; бұйымның соңғы бағасын ФҚТ көрсеткіштерімен байланыстыру.

Осылайша, функционалды-құндық талдау әдісін қолдана отырып, объектіні өндіруден түскен пайда көлемін бағалауға болады.

Функцияларды жүйелік талдау әдістемесі. Әдістеменің мақсаты функционалды түрде объектінің маңызды белгілері мен белгілерін анықтау, оларды логикалық реттілікте орналастыру және функцияларды жүзеге асырудың тиімді әдістерін анықтау болып табылады. Әдістің мәні зерттеу объектілердің мәнін функционалды түрде білдіру үшін ойлаудың реттелген әдісін алудан көрінеді.

Әдісті басқару құралы функцияның міндеттері мен мәселелерін көрсететін FAST диаграммасы болып табылады. Диаграмма функциялар арасындағы байланысты анықтау және шығындарды азайтудың ең үлкен резерві бар функционалды аймақтарды анықтауға мүмкіндік береді.

Функционалды-физикалық талдау (ФФТ). ФФТ мақсаты-қабылданған техникалық шешімдердің сапасын бағалау мақсатында техникалық объектілердегі іс-әрекеттің физикалық принциптерін талдау және жаңаларын әзірлеу [4].

Функционалды-құндық талдау немесе FMEA – талдау нәтижелері мәселені тұжырымдау кезеңінде қолданылады. ФФТ-ның келесі кезеңінде тұтынушы талаптарын талдауға негізделген техникалық объектінің тағайындалу функцияларын анықтау қажет.

Техникалық объектінің функцияларын сипаттау кезінде мыналарды ескеру қажет: объект орындайтын әрекеттер; әрекет бағытталған объект; өмірлік цикл кезеңдерінде объектінің жұмыс істеу шарттары.

Техникалық объектінің сыртқы жүйесін (сыртқы ортасын) талдау техникалық объектінің құрылымдық және ағындық моделінің құралдары бойынша жүргізіледі. Әрі қарай, тұтынушының талаптарын көрсететін объектіге қойылатын техникалық талаптардың тізімін жасау қажет.

Келесі кезеңде техникалық объектінің функционалды моделін құру, оның функцияларының физикалық принциптерін талдау, олардың техникалық және физикалық қайшылықтарын анықтау қажет.

Одан кейін осы қайшылықтарды шешу тәсілдері және техникалық объектіні жетілдіру бағыттары анықталады. Көбінесе модельді қалыптастыру құралы морфологиялық кесте, графиктер және эквивалентті схемалар болып табылады.

FMEA - талдауы қазіргі заманғы кәсіпорындарда кеңінен қолданылады, сондықтан оны дамыту барысында талдау нәтижелерін ұсынудың типтік формалары және оны жүргізу алгоритмдері анықталды [5].

Бұл әдісті қолданыстағы процестер мен өнімдерді әзірлеу кезінде де, нақтылау кезінде де қолдануға болады.

Әдістің мақсаты зерттеу объектісінің сапасын арттыру және ақаулардың (істен шығулардың) пайда болуын болдырмау немесе олар туындаған жағдайда жағымсыз салдарларды азайту жолымен бәсекеге қабілетті бұйымдар мен процестердің тиімді өндірісін қамтамасыз ету болып табылады [6].

Бірінші кезеңде өнімнің немесе процестің ықтимал ақауларын және/немесе істен шығуын, олардың салдарын тану және бағалау қажет. Бұл кезеңде талдау объектісінің моделін қалыптастыру жүзеге асырылады. Содан кейін пайда болатын ақаулардың ықтималдығын жою немесе азайту әрекеттері анықталады. Модельдерді зерттеу кезеңінде процесс талданады, әр істен шығулардың ықтимал салдарының (S) тізбесі жасалады, бұл ретте сарапшылар әрбір салдарды оның маңыздылығына сәйкес 10 балдық шкала бойынша бағалайды (10 - басты салдарлар). Содан кейін салдардың пайда болу ықтималдығы анықталады (O) және сәтсіздік пен оның салдарын анықтау ықтималдығы (D) 10 балдық шкала бойынша бағаланады. Келесі кезеңде әр салдар үшін тәуекелге басымдық коэффициенті (R) есептеледі [7].

FMEA талдауының қорытынды кезеңі-іс-шараларды және/немесе істен шығуларды құжаттау процесі. Талдау нәтижелері бойынша жұмыс істеуге тура келетін істен шығулар сәйкестендіріледі және тәуекел көрсеткіші жоғары істен шығуларды азайту мақсатында шаралар қабылданады (3-сурет).

Функция	Ықтимал ақаудың түрі	Ықтимал ақаудың салдары	Ұпай S	Ықтимал себептер(дер)	О ұпайы	Ақауларды (себептерін) анықтау бойынша алғашқы шаралар	D ұпайы	HCR	Ұсынылған өзгерту	Жауапкершілік, жоспарланған күн	Жұмыс нәтижелері				
											Қабылданған өрекеттер (өзгерістер)	Жаңа ұпай мәндері			
												C	O	D	HCR

Сурет 3. FMEA талдауын жүргізуге арналған үлгі түрі:
ПЧР-тәуекелділіктің басым саны

Іс-шаралар үшін оларды енгізу жоспары қалыптастырылады, бұл ретте іс-шараларды енгізу реттілігі және олардың ұзақтығы; әрбір іс-шара үшін жауапты және орындаушы; іс-шараларды енгізу қажет кәсіпорынның құрылымдық бөлімшелері; қаржыландыру көзі айқындалады.

Сапа функцияларын орналастыру (СФО) – тұтынушының талаптарын жүйелі түрде анықтау әдісі [8].

"Орналастыру" термині өндірушінің тұтынушының үміттеріне сәйкес келетін қажетті сапаға қол жеткізуді қамтамасыз ететін кәсіпорын процестерінің дәйектілігін ұйымдастыруын білдіреді.

СФО технологиясының негізгі идеясы тұтынушының талаптары мен бұйымның, процестің немесе жабдықтың параметрлері арасында айырмашылық бар-жоғын анықтау болып табылады [9]. Бұл әдістің алгоритмі 4-суретте көрсетілген.

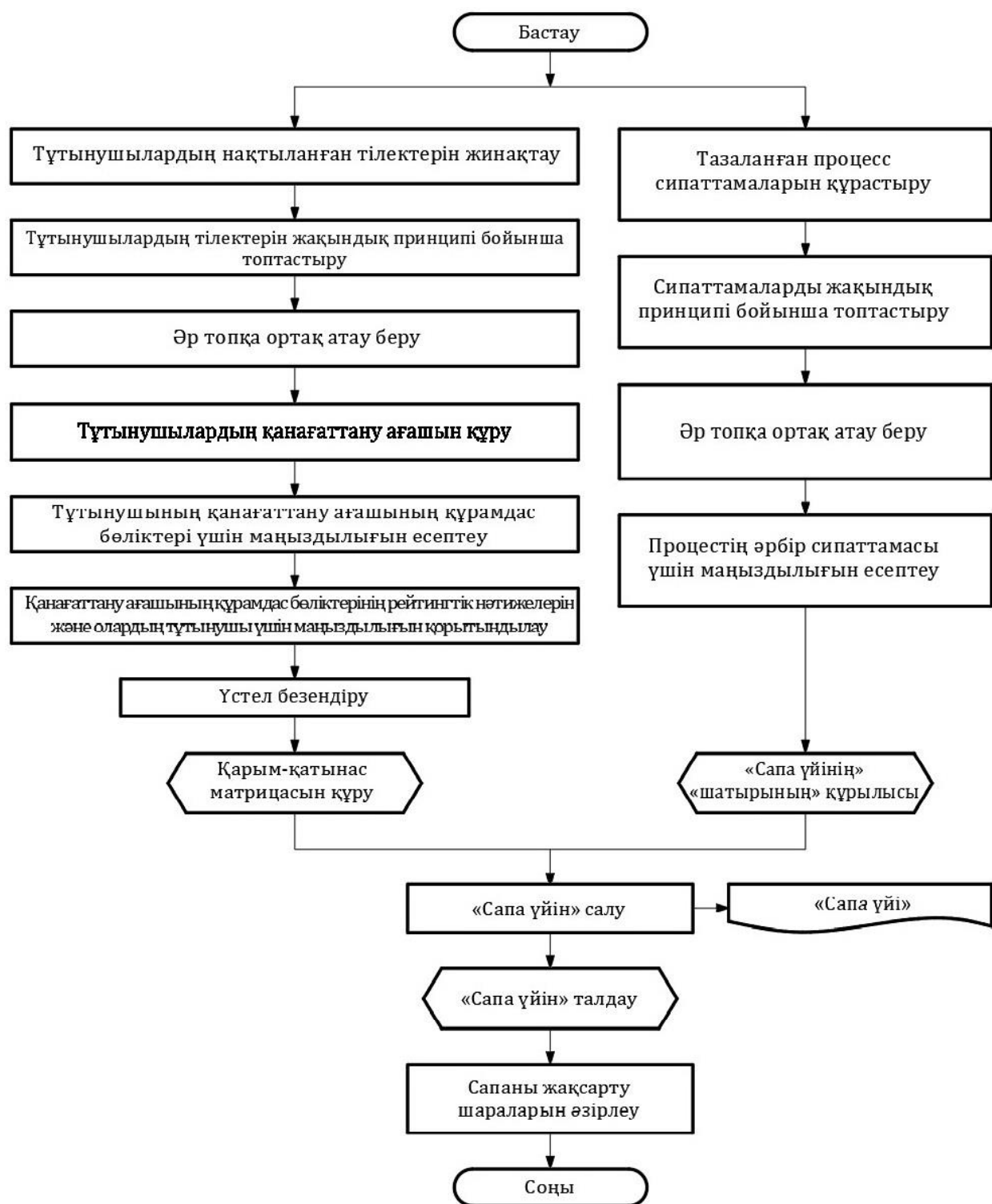
"Сапа үйі" кестелік матрицасы СФО технологиясының құралы болып табылады. Матрица тұтынушының талаптары мен қарастырылып отырған объектінің техникалық талаптары арасындағы байланысты бағалауға мүмкіндік береді.

Сапа функциясын орналастыру процесінің схемасы 5-суретте көрсетілген.

Матрицалық диаграмманың құрамдас бөліктері 6-суретте көрсетілген.

Матрицалық диаграмма белгілі бір құбылыстар (факторлар), олардың себептері мен туындаған салдарларды жою шаралары арасындағы сәйкестік пен тәуелділік дәрежесін көрсетеді.

СФО әдістемесі төмендегі негізгі элементтерге негізделген [9]. Бірінші негізгі элемент тұтынушылардың қанағаттану ағашының деңгейлерімен бірге келетін тұтынушылардың талаптарын анықтау болып табылады, содан кейін олардың өнімнің жалпы сипаттамаларымен байланысын бағалауға болады. Мәселені шешудің сәттілігін екі аспектіні жобалау кезінде түсінуге байланысты: тұтынушы не талап етеді және тұтынушы қарастырылып отырған өнімді қалай пайдаланады.

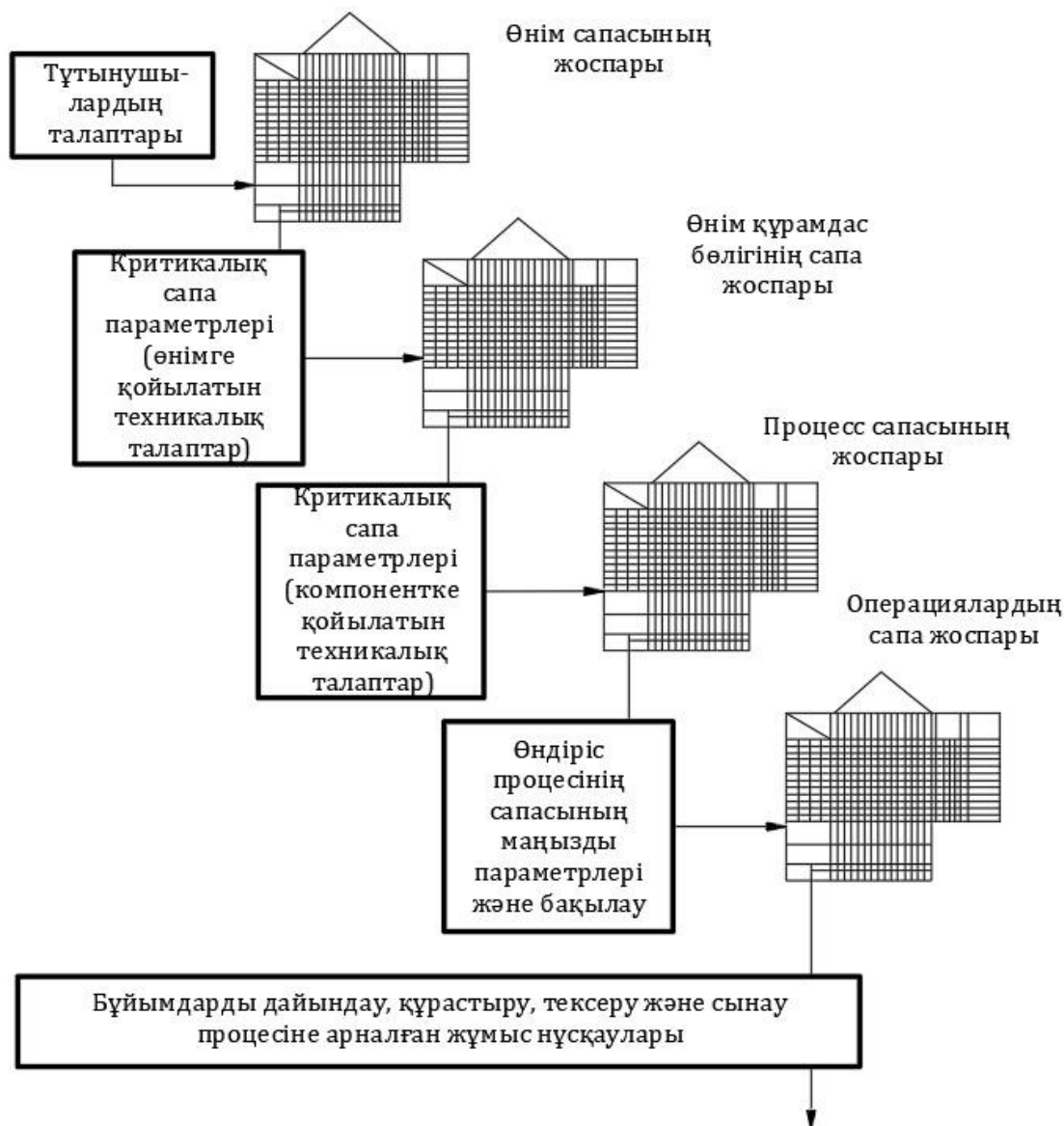


Сурет 4. Сапа функциясын орналастыру әдісінің алгоритмі (СФО)

Екінші негізгі элемент-тұтынушының назарын тұтынушының талаптарын ескеретін өнім сипаттамаларына аудару.

Үшінші негізгі элемент-тұтынушының талаптары мен өнімнің сипаттамалары арасындағы байланысты анықтау процесі.

Төртінші негізгі элемент-нарықтың тиісті сегментіндегі аналогтар арасында тұтынушы талаптарының орындалуын және өнімнің бәсекеге қабілеттілігін қамтамасыз ететін өнім сипаттамаларының мақсатты мәндерін таңдау.



Сурет 5. Сапа функциясын орналастыру әдісінің схемасы (СФО)

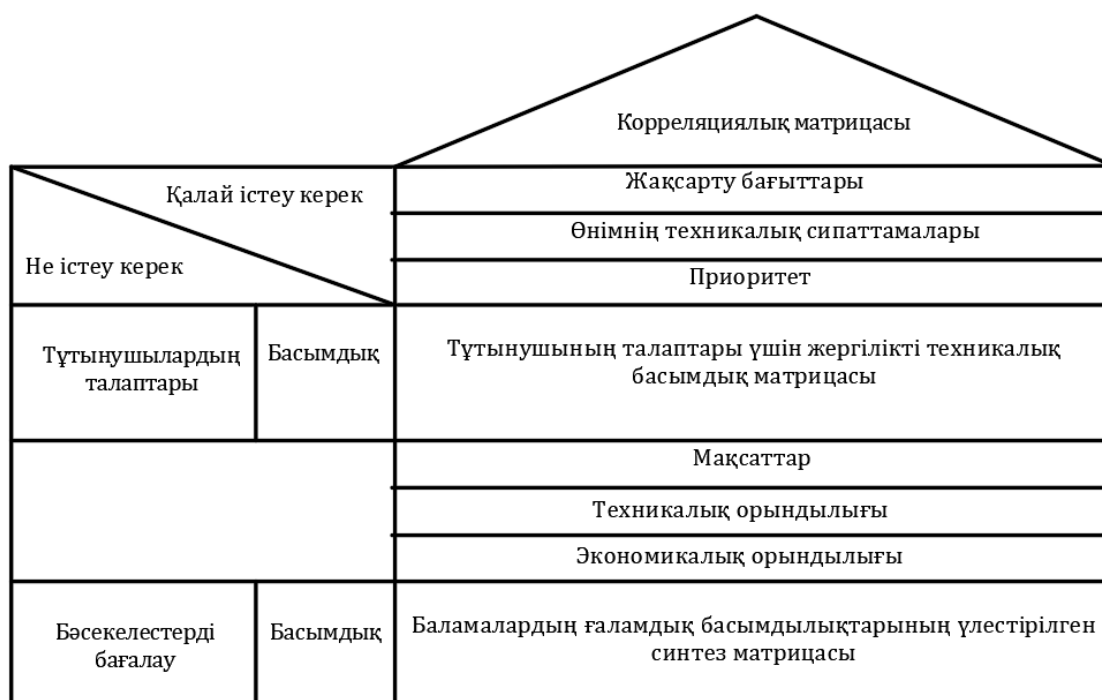
Бесінші негізгі элемент-тұтынушы талаптарының маңыздылығы рейтингін белгілеу және осы мәліметтер негізінде – өнім сипаттамасының маңыздылығы рейтингін анықтау.

Сапа функциясын орналастыру әдісінің қарастырылған негізгі элементтері фигуралық матрицаны құру кезінде негіз болып саналады. Фигуралық матрицаны қалыптастыруды талдау нәтижелері бойынша жобалау тобы мен сарапшылар тобы жобалау мақсаттарын анықтайды.

Нәтижелер мен талқылау

Функционалды-құндық талдау әдісі (ФҚТ). Әдістің артықшылығы мынада: өнімнің құндылығын қоспайтын операциялардың көлемін анықтау және қысқарту мүмкіндігі; стратегиялық шешімдер қабылдаудың дәлдігін арттыру, мысалы, өнімнің бағасын белгілеу және қосалқы мердігерлік ұйымдарды пайдалану.

Әдістің кемшіліктеріне мыналар жатады: модельді қабылдауды қиындататын функцияларды сипаттаудың қажетсіз егжей-тегжейлі процесі; әдісті жүзеге асыру үшін арнайы грамматикалық құралдардың қажеттілігі; компанияның құрылымдық өзгерістерінде оны пайдалануға мүмкіндік бермейтін модельдің икемсіз құрылымы; өнімді жобалау бойынша іс-шараларды әзірлеудің реттелмеген тәртібі; объектіні жетілдіруге бағытталған тиімді ұсыныстарды таңдаудың реттелмеген тәртібі.



Сурет 6. СФО базалық құрылымы-диаграммалар

Функцияларды жүйелік талдау әдістемесі. Әдістің артықшылығы – оны қолданған кезде функцияларды анықтап, қалыптастырып қана қоймай, сонымен қатар жүргізілген жіктеудің барабарлығын талдауға, функциялар арасында өзара байланыс орнатуға

болады. Сондай-ақ, әдістің артықшылықтарына мыналар жатады: қысқа мерзімде шешім қабылдау; шығындарды азайтуды қамтамасыз ету; нақты әрекет алгоритмі; әдіс диаграммасы функциялардың өзара байланысын нақты бағалауға мүмкіндік береді.

Әдістің кемшілігі мынада: зерттелетін саланың салыстырмалы шектеулігі; зерттеудің компанияның басқа бизнес-процестерінен оқшаулығы; сәйкессіздіктердің пайда болу салдарын емес, себебін анықтаудың күрделілігі және нәтижесінде талданатын процестің шектеулілігіне байланысты бизнес-процестерді жетілдіру шараларының мүмкін тиімсіздігі; функцияларды талдаудағы субъективтілік; функциялардың құндық шектерін анықтаудың негізсіздігі.

Функционалды-физикалық талдау (ФФТ). ФФТ артықшылығы - физикалық әсерлер қорын құрылымдау, нәтижесінде модельді ыңғайлы қабылдау, осыған орай шешім қабылдау уақытын қысқарту.

Әдістің кемшілігі мынада: түпкілікті шешім қабылдауда қателікке әкелуі мүмкін ең жақсы нұсқаларды алу үшін жағдайлардың болмауы; басқа сапа құралдарын пайдаланбай әдісті тиімді және бөлек қолдану мүмкін еместігі; оларды анықтау мен есепке алудың реттелмеген тәртібіне байланысты тапсырыс берушінің талаптарын сақтауға кепілдік берілмеуі.

FMEA талдау. Бұл әдістің артықшылығы мыналарды анықтау мүмкіндігін қамтиды: ықтимал сәтсіздіктер, олардың пайда болу себептері мен салдары; ықтимал салдардың себептерін жою бойынша әрекеттер, бұл ақаулардың пайда болуын болдырмауға, өнімнің қауіпсіздігін және тұтынушының талаптарын арттыруға мүмкіндік береді.

Әдістің кемшілігі: FMEA қолдану экономикалық көрсеткіштерді талдауға бағытталмайды; әдіс тұтынушылардың қалауын өнімнің техникалық сипаттамаларына дәл аударуға мүмкіндік бермейді; барлық ықтимал ақаулар ескерілмеуі мүмкін.

Сапа функцияларын орналастыру (СФО). СФО пайдаланудың маңызды ұзақ мерзімді артықшылығы тұтынушылардың қажеттіліктерін барынша қанағаттандыру жолымен олардың нарығын қамтамасыз ету немесе кеңейту есебінен бәсекеге қабілеттілікті арттыру болып табылады.

Әдістің артықшылықтарына мыналар жатады: ақаудың сыртқы шығындарын азайту; өнімді нарықта тануға байланысты тиімсіз дамуды азайту; уақыт ресурстарын азайту; даму процесінің көрнекілігі; жеке функциялардың немесе құрылымдық элементтердің/компоненттердің нақты тұжырымдалған мағынасы мен мақсаты, бұл өнімді жақсарту кезінде аз еңбек пен уақыт шығындарына әкеледі.

Қорытынды

Өнімді жобалау кезеңінде сапаны басқару әдістерін талдау бөлігінде жүргізілген зерттеулер келесі артықшылықтарға ие сапа функциясын орналастыру (СФО) әдісін анықтауға мүмкіндік берді: ақаулық шығындарын азайту, тұтынушылардың қажеттіліктерін барынша қанағаттандыру арқылы нарықты қамтамасыз ету немесе кеңейту арқылы бәсекеге қабілеттілікті арттыру. Әдістің кемшіліктеріне аралық және қорытынды сараптамалық шешімдерді қабылдаудың реттелмеген тәртібі жатады.

Авторлардың қосқан үлесі:

Мадиярова А.С., Букаева А.З., Чвжабаева М.М. – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар, мәліметтер жинау.

Суйеуова Н.Б., Билашова Г.С. – талдау, визуализация, интерпретация, жа-зу, өңдеу.

Әдебиеттер тізімі

1. Глудкин, О.П. Всеобщее управление качеством: учебник для вузов / О.П. Глудкин, Н.М. Горбунов, А.И. Гуров, Ю.В. Зорин. – М.: Горячая линия – Телеком, 2001. - 600 с.
2. Анисимов, С.Н. Управление проектами. Российский опыт / С.Н. Анисимов, Е.В. Анисимова. – СПб.: Вектор, 2006. – 240с.
3. Кузьмин, А.М. Функционально-стоимостный анализ как инструмент подъёма и развития российской экономики / А.М. Кузьмин, А.А. Барышников // Машиностроитель. - 2000. - № 11. - С.48-50.
4. Колоколов, В. А. Функционально-физический анализ инновационных решений / В. А. Колоколов. – М.: Изд-во Рос. экон. акад., 2001. - 158 с.
5. Алексеев, В.А. FMEA-анализ жизненного цикла / В.А. Алексеев // Методы менеджмента качества. – 2002. -№1. - С.39.
6. Солодков, Е.И. Применение FMEA-анализа для улучшения процесса градуировки электронных весов/ Е.И. Солодков, С.В. Пономарёв, А.Н. Жмаев и др.// Методы менеджмента качества. - 2004. - №8.- с.47
7. Никифоров, А.Д. Управление качеством: учебное пособие / А.Д. Никифоров. – М.: Дрофа, 2004. – 720 с.
8. Барабанова, О.А. Семь инструментов управления качеством. Бенчмаркинг. Развертывание функции качества / О.А. Баранова, В.А. Васильев, П.В. Москалев. – М.: Изд-во МАТИ РГТУ им. К.Э. Циолковского, 2003. – 48 с.
9. Семенова, Е.И. Управление качеством: учебник для вузов / Е.И. Семенова, В.Д. Коротнев, А.В. Пошатаев. – М.: КолосС, 2004. – 184 с.

А.С.Мадиярова, А.З.Букаева*, Н.Б.Суйеуова, М.М.Чажбаева, Г.С.Билашова

*НАО "Каспийский университет технологий и инжиниринга
им. Ш.Есенова", Актау, Казахстан*

Анализ методов управления качеством при проектировании изделий

Аннотация. На современном этапе развития экономики РК в целях обеспечения конкурентоспособности изделия особое внимание предприятия машиностроительного комплекса обращают на решение задач максимального обеспечения требований заказчиков, которые выражаются в формировании технических характеристик изделий. В статье проведен анализ существующих методов управления качеством при проектировании изделий. Конкурентоспособность изделия зависит от качества процесса проектирования: от точности поставленных целей при проектировании и уровня их достижения с точки зрения

удовлетворения требований потребителя к данному изделию. По данным исследований, дефекты, выявляемые в процессе производства и эксплуатации изделий, составляют 70% всех дефектов, что обусловлено низким уровнем качества процессов планирования, проектирования и подготовки производства. Чем раньше будут определены и зафиксированы параметры качества, тем меньше ресурсов, временных и финансовых, потребуется для получения конечного продукта с необходимыми характеристиками качества. Выполненное исследование в части анализа методов управления качеством на этапе проектирования изделий позволило выделить метод раз-вертывания функции качества (РФК), обладающий следующими преимуществами: уменьшение затрат на дефект, повышение конкурентоспособности за счет обеспечения или расширения рынка потребителей путем максимального удовлетворения их потребностей. К недостаткам метода можно отнести нере-гламентированный порядок принятия промежуточных и итогового экспертных решений.

Ключевые слова: управление качеством, технические характеристики, параметры, конкурентоспособность изделий, проектирование изделий.

A.S. Madiyarova, A.Z. Bukaeva*, N.B. Suieyova, M.M. Chazhabaeva, G.S. Bilashova

*Sh. Yessenov Caspian University of Technologies and Engineering,
Aktau, Kazakhstan*

Analysis of quality management methods in product design

Abstract. At the present stage of the development of the economy of the Republic of Kazakhstan, enterprises in the machine-building complex are focusing on addressing customer requirements to ensure product competitiveness. This is reflected in the development of product technical characteristics. The article analyzes the existing methods of quality management in the design of products. The competitiveness of a product depends on the quality of the design process: on the accuracy of the design goals set and the level of their achievement in terms of meeting consumer requirements for this product. According to research data, defects detected during the production and operation of products account for 70% of all defects. This is attributed to the suboptimal quality of the planning, design, and production preparation processes. The earlier the quality parameters are determined and fixed, the fewer resources, time and financial resources will be required to obtain the final product with the necessary quality characteristics. The research carried out in terms of analyzing quality management methods at the product design stage allowed us to identify a method for deploying the quality function (QF), which has the following advantages: reducing the cost of a defect, increasing competitiveness by providing or expanding the consumer market by maximizing their needs. The disadvantages of the method include the unregulated procedure for making intermediate and final expert decisions.

Keywords: Quality management, technical characteristics, parameters, product competitiveness, product design.

References

1. Gludkin, O.P. Universal quality management. Textbook for universities / O.P. Gludkin, N.M. Gorbunov, A.I. Gurov, Yu.V. Zorin. – M.: Hotline – Tele-com, 2001. - 600 p.

2. Anisimov, S.N. Project management. Russian experience / S.N. Anisimov, E.V. Anisimova. – St. Petersburg: Vector, 2006. – 240s.
3. Kuzmin, A.M. Functional cost analysis as a tool for the rise and development of the Russian economy / A.M. Kuzmin, A.A. Baryshnikov // Mashinostroitel. - 2000. - No. 11. - pp.48-50.
4. Kolokolov, V. A. Functional and physical analysis of innovative solutions / V. A. Kolokolov. – M.: Publishing House of Russian Economics. akad., 2001. - 158 p.
5. Alekseev, V.A. FMEA-life cycle analysis / V.A. Alekseev // Methods of quality management. – 2002. - No. 1. - p.39.
6. Solodkov, E.I. Application of FMEA analysis to improve the calibration process of electronic scales / E.I. Solodkov, S.V. Ponomarev, A.N. Zhmaev et al.// Methods of quality management. - 2004. - No.8.- p.47
7. Nikiforov, A.D. Quality management: a textbook / A.D. Nikiforov. – M.: Bustard, 2004. – 720 p.
8. Barabanova, O.A. Seven quality management tools. Benchmarking. Deployment of the quality function / O.A. Baranova, V.A. Vasiliev, P.V. Moskalev. – M.: Publishing House of the Russian State Technical University named after K.E. Tsiolkovsky, 2003. – 48 p.
9. Semenova, E.I. Quality management: textbook for universities / E.I. Semenova, V.D. Korotnev, A.V. Poshataev. – M.: KolosS, 2004. – 184 p.

Авторлар туралы мәлімет:

Мадиярова А.С. – кандидат технических наук, и.о. ассоциированного профессора, НАО «Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова», 32 мкр., 130000, Актау, Казахстан.

Букаева А.З. – автор для корреспонденции, доктор PhD, и.о. ассоциированного профессора, НАО «Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова», 32 мкр., 130000, Актау, Казахстан.

Суйеуова Н.Б. – ассистент ассоциированного профессора, НАО «Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова», 32 мкр., 130000, Актау, Казахстан.

Чажбаева М.М. – кандидат технических наук, и.о. ассоциированного профессора, НАО «Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова», 32 мкр., 130000, Актау, Казахстан.

Билашова Г.С. – ассистент ассоциированного профессора, НАО «Каспийский университет технологий и инжиниринга им. Ш.Есенова», 32 мкр., 130000, Актау, Казахстан.

Madiyarova A.S. – Candidate of Technical Sciences, Acting Associate Professor, Sh. Yesenov Caspian University of Technology and Engineering, 32 mkr., 130000, Aktau, Kazakhstan.

Bukaeva A.Z. – correspondence writer, PhD, Acting Associate Professor, Sh. Yesenov Caspian University of Technology and Engineering, 32 mkr., 130000, Aktau, Kazakhstan.

Suyeuova N.B. – Assistant Associate Professor, Sh. Yesenov Caspian University of Technology and Engineering, 32 mkr., 130000, Aktau, Kazakhstan.

Chazhabaeva M.M. – Candidate of Technical Sciences, Sh.Yesenov Caspi-an University of Technology and Engineering, 32 mkr., 130000, Aktau, Kazakh-stan.

Bilashova G.S. – Assistant Associate Professor, Sh.Yesenov Caspian Uni-versity of Technology and Engineering, 32 mkr., 130000, Aktau, Kazakhstan.

Мадиярова А.С. – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессордың м.а., «Ш. Есенов атындағы Каспий технология және инжиниринг университеті» КеАҚ, 32 ш / а., 130000, Ақтау, Қазақстан.

Букаева А.З. – хат-хабар авторы, PhD докторы, қауымдастырылған профессордың м. а., «Ш. Есенов атындағы Каспий технология және инжиниринг университеті» КеАҚ, 32 ш / а., 130000, Ақтау, Қазақстан.

Сүйеуова Н.Б. – қауымдастырылған профессордың ассистенті, «Ш. Есенов атындағы Каспий технология және инжиниринг университеті» КеАҚ, 32 ш / а., 130000, Ақтау, Қазақстан.

Чажбаева М.М. – техника ғылымдарының кандидаты, «Ш. Есенов атындағы Каспий технология және инжиниринг университеті» КеАҚ, 32 ш / а., 130000, Ақтау, Қазақстан.

Билашова Г.С. – қауымдастырылған профессордың ассистенті, «Ш. Есенов атындағы Каспий технология және инжиниринг университеті» КеАҚ, 32 ш / а., 130000, Ақтау, 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/>).



IRSTI 47.45.29

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-137-153>

Article

Investigation of snow characteristics in the microwave range for avalanche forecasting

K.B. Kadyrakunov^{id}, V.E. Nikulin^{id}, A.K. Nurmagambetova*^{id}, A.E. Aizhanova^{id},
R.T. Nurgalieva^{id}

International University of Engineering and Technology, Almaty, Kazakhstan

(E-mail: aiko_nya@mail.ru)

Abstract. It should be noted that avalanches of accumulated snow masses are typically triggered by climatic factors, including abrupt weather changes (such as variations in atmospheric pressure and air humidity), precipitation, and heavy snowfall. The volume of snow in an avalanche can reach several million cubic meters. However, even avalanches with a volume of about 5 m³ can be life-threatening. To reduce and prevent these negative factors, it is necessary to predict and prevent the occurrence of avalanches at an earlier stage. This task is solved by regular monitoring of snow and weather conditions on the proposed area of mountain slopes.

In order to achieve this objective, a variety of methods and techniques based on different physical and technical principles are currently used. One of the most promising directions is the use of radio waves of ultra-high frequency (UHF) range.

The present study is devoted to the examination of the possibility of UHF methods for the remote measurement of snow parameters.

Two experimental installations for measurement of various snow parameters in the microwave radio wave range have been constructed for avalanche forecasting. Predictors of avalanches are chosen based on physical considerations and methods of mathematical statistics. The objective of our research is to create an installation to study the characteristics of mountain snow in the avalanche-hazardous areas of the Shimbulak ski resort. The main parameters of electric snow that influence the process of transmission, propagation and reflection of radio waves are considered. As a result of the changes, the dipole moment increases, which causes the separation band of the alternating influence of water to expand and move to the low-frequency region. The results of experimental studies of radio-wave attenuation in snow used to calculate the absorption coefficient of microwave radiation in snow are presented. Dielectric permeability and tangent of the angle of snow losses have been measured using the waveguide method.

Keywords: snow, avalanche, distribution of radio waves, horn antenna, the waveguide detector section, complex permittivity, electromagnetic radiations, absorption of radio waves.

Received 20.11.2023 Revised 30.05.2024 Accepted 11.06.2024 Available online 30.06.2024

* the corresponding author

Introduction

In general, forecasting of avalanche hazard means detection of place and time of avalanches. Long-term investigations and analyses of papers devoted to the identification of the main factors leading to the formation of avalanches allowed us to identify the most significant predictors of avalanches of different genetic types (Table 1) [1-5].

Table1. A set of the most significant predictors of avalanches of different genetic types

Types of information (parameters)	Genesis of avalanches			
	Fresh snow	Snowdrift	Thermal loosening	Sublimation loosening
Air temperature	+	+	+	-
Snow depth	+	(+)	+	(+)
Water equivalent of snow	(+)	-	(+)	(+)
Snow density	(+)	(+)	(+)	(+)
Snow humidity	-	-	+	-
Snow temperature	-	-	+	(+)
Snow humidity	(+)	-	-	-
Wind transfer	-	+	-	-
Duration of sunshine	-	-	(+)	-
Acoustic emission of snow	+	+	(+)	(+)
Wind speed	(+)	+	-	-
Avalanching time	+	+	+	(+)
Power of loose horizons	(+)	-	-	(+)
Crystal size	-	-	(+)	(+)
Atmospheric pressure	-	+	-	-

- + the sign is informative
- (+) the sign is conventionally informative
- the sign is uninformative

The table shows that snow thickness is one of the informative parameters. It is well identified and can be used as a universal parameter for predicting avalanches in many mountainous regions. However, we must bear in mind that each snow layer was formed in different periods of time and varied under different weather conditions. It should be noted that the snow depth as an indicator of avalanche hazard must be used in combination with other avalanche factors.

Some authors state that for the purposes of statistical analysis it is not necessary to form large sets of data with signs for most avalanche situations [3-7]. Larger data arrays do not usually give more timely and more accurate forecasts.

Predictors of avalanches are chosen based on physical considerations and methods of mathematical statistics. Predictors for forecasting techniques must be chosen taking into account the area for which the forecast is made and the variability of values of predictors within the area. The objective of our research is to create an installation for investigation of characteristics of the mountain snow in the avalanche-hazardous areas of the Shimbulak ski resort.

Using radio waves in snow studies

Avalanche-forming factors are first determined when the thickness of the new snow on the observation site of the avalanche station reaches 7-8 centimeters. Then calculations are repeated periodically after a certain period of time. At a known rate of growth of the snow depth, the time preceding the avalanche hazard is defined as the time needed for formation of the critical snow thickness. It is very important to know the thickness of snow in the area of avalanche nucleation. As it is dangerous to conduct direct observations of the snow cover in this zone, its characteristics are determined on the basis of remote observations and measurements on the experimental ground.

Because of the lack of equipment and techniques for obtaining reliable information on the state and properties of snow in the avalanche nucleation areas, the methods of local forecasting are still poorly developed, and the precision of existing methods used to determine strength characteristics and indicators of the snow cover stability is low.

Therefore, it is very important to study electrical, radio wave, radiation, laser and acoustic properties of snow, which have not been well studied yet [8-10].

It is necessary to pay special attention to the radio wave method as the most convenient method for remote measurements of snow parameters. Let us consider basic electrical parameters of snow, which affect the process of transmission, absorption and reflection of radio waves.

Dry snow, first of all, is characterized by small electric conductivity, at the density of snow ranging from 100 to 500 kg/m³ and temperature from -2 to -16 °C, its specific electric resistance ρ is quite high, ranging from $2.8 \cdot 10^5$ to $2.6 \cdot 10^7$ Ohm*m, and it is close to the specific resistance of artificial ice. On the contrary, damp snow has small electric resistance reaching values of 100 Ohm*m. Dielectric permeability of the snow cover ϵ depends on the frequency of electromagnetic waves, their length and snow characteristics (temperature, density, structure, humidity). Dielectric permeability of snow is lower than that of the ice ($\epsilon_{0L} = 73 \dots 95$, $\epsilon_{\infty} = 3 \dots 8$) and increases with increase in its density and humidity [1,2].

It is also known that fog, rain and snow considerably weaken radio signals with a wave length less than 5cm. Noncontact radio wave methods enable scientists to control thickness, humidity, viscosity, kinetics of hardening, geometrical sizes, composition of components, existence of various defects and other snow parameters. Of special interest is absorption and dispersion of radio waves in the microwave range caused by the broadband rotary relaxation of polar water molecules in the microwave region. In this case the precision of measurements depends on the wavelength: the precision increases as the wavelength decreases. The other obvious advantages of microwave radio waves are:

- Non-contact control, which means that the sensor is not loaded and does not disturb the state of the surface of studied or controlled snow;
- Very low inertia of the reading system;
- Possibility of carrying out continuous measurements;
- Proportionality of the resulting signal to the measured value or its changes;
- Signals at the output of the system do not require additional conversion;
- Simplicity of system calibration and automation.

In most widely used methods of thickness measurements the signal is a function of two variables: geometrical thickness and dielectric permeability of controlled snow. Therefore, the precision of measurements depends on the uniformity of snow thickness.

We used the amplitude method based on the principle of attenuation of electromagnetic waves passing through the material (the “transmission” method) applicable for measurements in homogeneous isotropic media with constant scattering properties of the surface. When analyzing the results of such measurements, it is necessary to know the value of the total attenuation caused by the interaction with the medium. The wave energy will decrease due to the action of the following factors [8-11]:

- absorption in the medium;
- scattering by microparticles;
- attenuation caused by nonideal transparency of the boundaries of the section;
- attenuation caused by nonideal orientation of transceiver antennas.

A specific feature of water structure is the existence of dipolar moments. Electromagnetic waves can cause deformation of hydrogen bonds including changes in the O-H length or H-O-H angles. As a result of such changes the dipolar moment increases, which causes broadening and shifting to the low-frequency region of absorption bands in the oscillatory water spectra. Intermolecular bonds are even less stable and easily collapse under the action of short-wave electromagnetic waves. The hydrogen atom located between two atoms of oxygen can be in one of two states – either near the first or near the second atom of oxygen, and one of these states is stable. The energy of transition of the hydrogen atom from the stable state to the unstable one corresponds to the quantum of energy in the microwave range [1,2]. The absorption of radiation of the microwave range by water is caused by orientational polarization of molecules. Intermolecular interaction and thermal motion of molecules act as counteracting effects. Dielectric losses are caused by shifting of the polarization phase. The range of frequencies 10 GHz ÷ 50 GHz is the range of dispersion of dielectric permeability of free water caused by relaxation fluctuations of molecular dipoles of free water (macroscopic time of relaxation is 0.9, 10-11 c), which under the influence of a high-frequency alternating field do not have time to reorient [12-14]. The percentage of absorption of microwave energy by water is 50% at frequencies of 1 GHz, 90% at 10 GHz and 98% at 30 GHz.

The methodology

To study snow characteristics, we used the experimental setup, the block diagram of which is shown in Figure 1. The experimental setup consists of a microwave transmitter and receiver

adjusted to measure snow attenuation at a fixed frequency. At the outlet (in the vicinity of the cutoff of the horn) the antenna gives a synphased plane field. Measurements are made by the method of direct conversion – the readings of the oscilloscope screen. As a source of microwave radiation, we used a special generator.

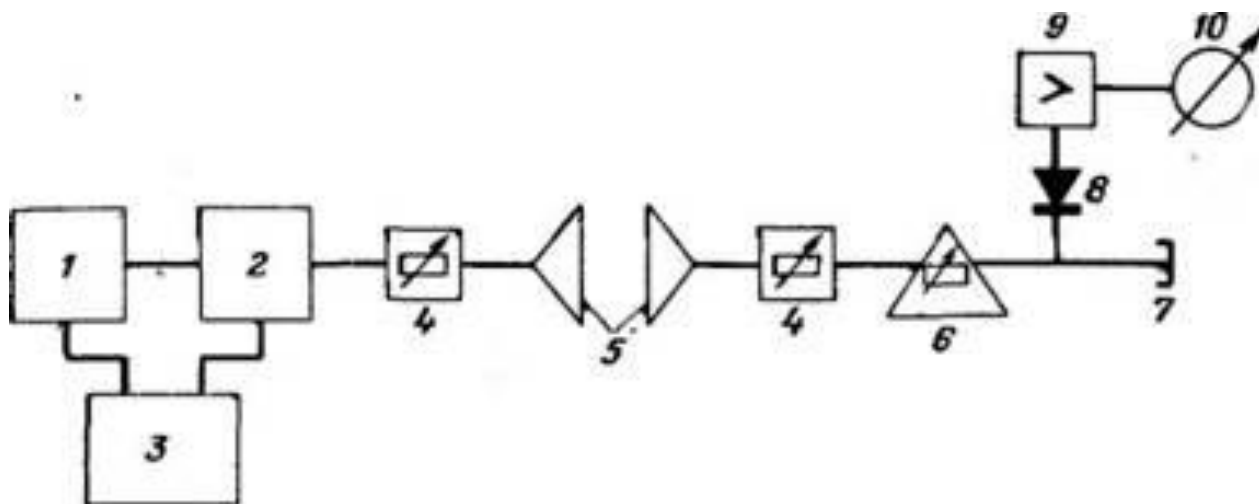


Figure 1. A block diagram of the microwave experimental setup for measuring snow parameters [15]

1 is a microwave generator, 2 is a modulator, 3 is a power supply, 4 are decoupling attenuators, 5 are two microwave antennas, 6 is a measuring attenuator, 7 is a matched load, 8 is a microwave detector, 9 is a narrow-band amplifier, 10 is a measuring instrument.

In our experiment the function of the microwave source was fulfilled by a special generator calibrated in frequency, output power and pulse modulation parameters. We used measuring UHF generator G4-126 in the centimeter range for 2-reflexing klystrons working in the frequency range from 8.8 to 12 GHz (in the 2.5-3.8cm wavelength range). The device has a built-in resonant frequency meter (frequency meter) measuring the frequency of the output signal with a precision of 0.2%. The device has an attenuator to adjust the output power of the microwave radiation in the range from +10 to -100 dB, or from 4 to 20 mW in absolute values. The H10 microwave electromagnetic wave with vertical polarization passes through a rectangular waveguide flange with internal dimension of the waveguide 23 • 10 mm. The generator provides several types of modulation. The power indicator is an independent unit and allows one to control the output power of the generator. The built-in power indicator consists of a thermoelectric converter, a dc amplifier and an indicator with a scale calibrated in dB. The modulator block provides the operation of the generator in the amplitude, pulse modulation with a frequency of 1 kHz. The pulse mode of the microwave generator is provided by the voltage modulator by sending modulating voltage to the klystron reflector circuit. Insulating attenuators reduce the action of the signal reflected from the measurement object on the generator. Figure 2 shows a pyramidal horn antenna [16].

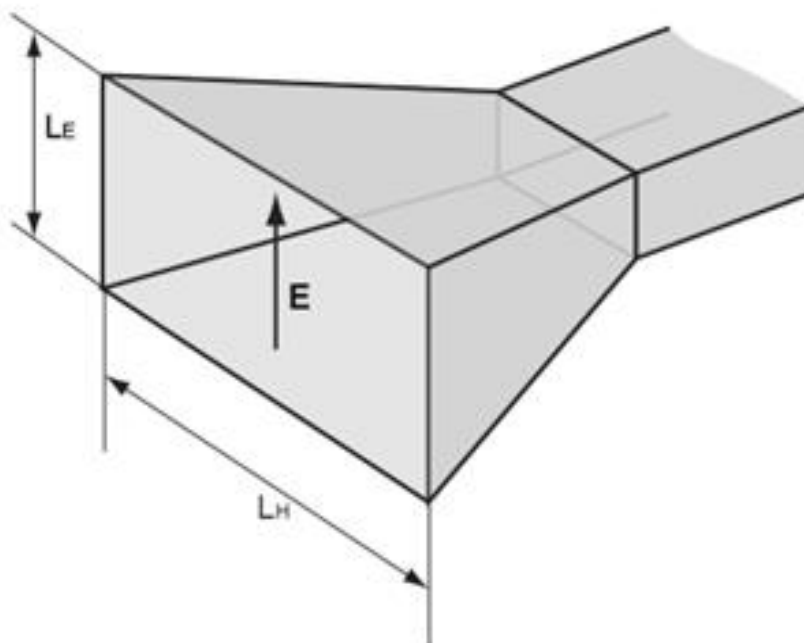


Figure 2. A schematic representation of a pyramidal horn antenna, L_E is the height of the antenna aperture, L_H is the width of the antenna aperture, E is the vector of the electric component of the microwave showing the vertical plane of polarization [14].

The radiation pattern is shown in Figure 3.

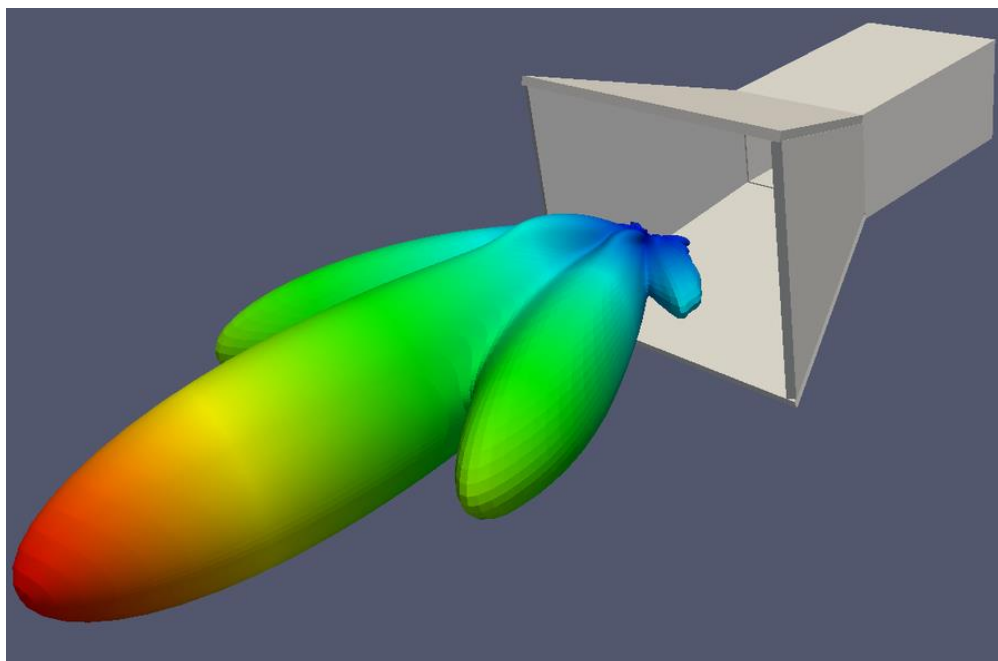


Figure 3. Spatial directivity of the pyramidal horn antenna [17].

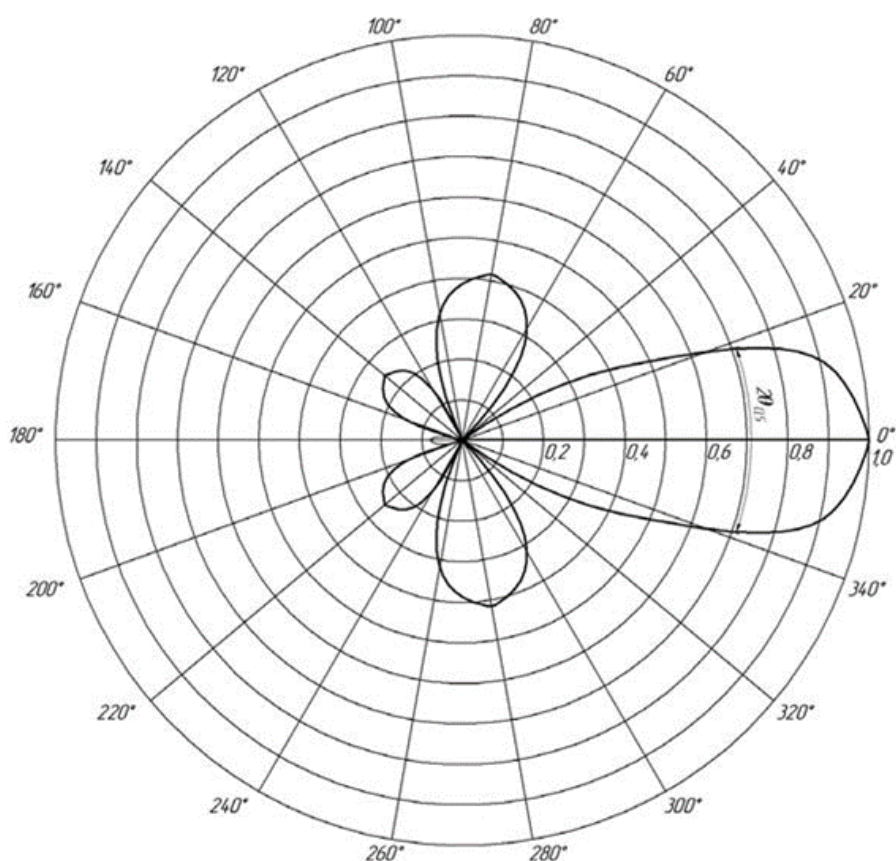


Figure 4. Directivity pattern of the pyramidal horn antenna in the polar coordinate system [18].

To detect and register electromagnetic waves in the microwave range, we used a semiconductor crystal point diode, which was placed in a high-frequency holder in the waveguide section of the detector (Figure 5). This section was connected to the microwave measuring circuit. The microwave diode is used to convert an amplitude-modulated microwave into electrical oscillations of low frequency. We observe and measure the low-frequency envelope of amplitude-modulated signals on the oscilloscope. It is part of the microwave signal frequency of demodulator used in devices measuring power, frequency and controlling signal waveform. The waveguide detector section with the amplitude microwave detector consists of an element providing connecting to the microwave path (a matching device), a diode, a low-pass filter (LPF) and an output to the woofer.

The microwave signal received by the horn antenna passes through the waveguide in the waveguide detector section.

The detector section is a waveguide segment 1 with a flange connecting the detector section to the horn pyramidal antenna.

The microwave diode is mounted in the waveguide section 1 of size of $23 \cdot 10$ mm (the cross-section perpendicular to the waveguide axis) parallel to the narrow wall of the waveguide along the electric field lines of the electromagnetic wave.

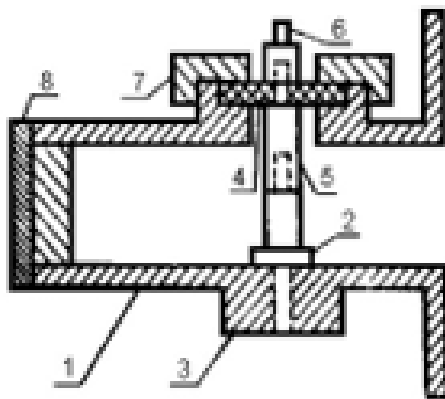


Figure 5. A waveguide microwave detector section, where 1 is a waveguide segment, 2 is a cathode of the microwave diode, 3 is a bronze bushing, 4 is a dielectric sleeve, 5 is a rod, 6 is an output terminal signal, 7 is a coupling nut, 8 is a piston [8]

The cathode of the diode 2 is connected directly to the wide wall of the waveguide. The bronze bushing 3 is coupled to the waveguide soldered to the wide wall of the waveguide. The anode of the diode is isolated from the waveguide dielectric sleeve 4 and through the composite rod 5 is connected to the output signal terminal 6. The dielectric sleeve, the rod and the diode are fixed with the coupling nut 7. The detector is adjusted by moving the piston 8 at a distance of the quarter-wave length from the diode to the piston, which serves as the rear wall, the diode is aligned with the maximum electric field, i.e. it is in the antinode (maximum) of the electromagnetic field, after which it is fixed.

The snow was poured into the rectangular container with dielectric walls placed in the space between transmitting and receiving horn pyramidal microwave antennas (Figures 6 and 7).



Figure 6. A photograph of the experimental setup for measuring microwave radiation without the container (the microwave generator connected to the transmitting horn antenna (light green color) and the receiving horn antenna (yellow))



Figure 7. An experimental setup for measuring transmitted microwave radiation in case of the maximum filling of the container with snow (the snow layer thickness between the openings of horn antennas is 53 cm)

To measure the dielectric permeability ε and the tangent of the angle of snow losses $\text{tg}\delta$ we used the waveguide method based on direct observation of reflected and transmitted waves (Figure 8), i.e. on the measurement of complex coefficient of reflection or passage of waveguide section where the snow is placed. In the first case the ε value can be determined by the difference between phases of the wave reflected by a short-circuited wave guide with the examined dielectric sample and the wave reflected by the same waveguide without a sample. The error in determination of ε and $\text{tg}\delta$ was about 10-15% [19].

From methodological and technical points of view it is more reasonable not to measure characteristics of the reflected wave but to monitor standing waves in the waveguide without snow formed as a result of interference of the total reflected - E_1 and incident running + E_1 waves.

The comparison of standing waves in the waveguide without snow and after its placing into the waveguide allows us to calculate snow parameters. The pattern of standing waves in the waveguide was studied in the waveguide measuring line P2-28.



Figure 8. An experimental setup for studying dielectric characteristics of snow using a waveguide instrument line. In the left part of the figure, you can see the microwave generator connected to the P1-28 measuring line by the flange connection, then follows the waveguide section with snow and the short-circuited waveguide load with variable phase NKP-7; the oscilloscope is connected to the detector section of the measuring line

The scheme of the setup for measuring electro-physical snow parameters using the waveguide method is shown in Figure 9.

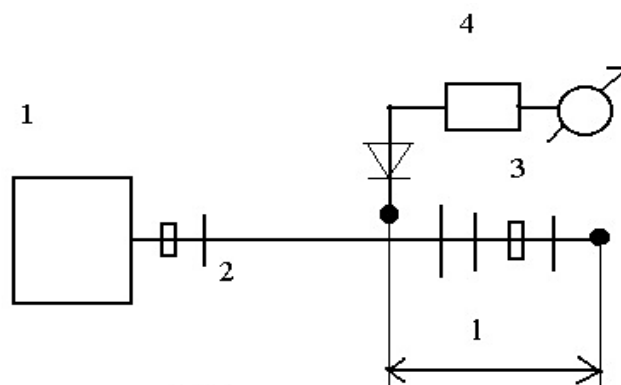


Figure 9. A scheme of the experimental setup for measuring dielectric permeability using snow waveguide method with a short-circuited line: 1 is a microwave generator, 2 is a measuring line, 3 is a part of the waveguide, 4 is a measuring amplifier, 1 is the distance from the probe to the short circuit [14]

Measurements were made at a frequency of 10 GHz and a wavelength of 3.2 cm.

The perpendicular dimensions of the rectangular waveguide line were 10•23 mm. The radiation intensity was about 20-milliwatt, polarization was vertical. Before placing snow in the setup, the waveguide was cooled to a temperature of -2° C. The snow tightly adjoined the short-circuited end of the line.

The measurement process is shown in Figure 10.

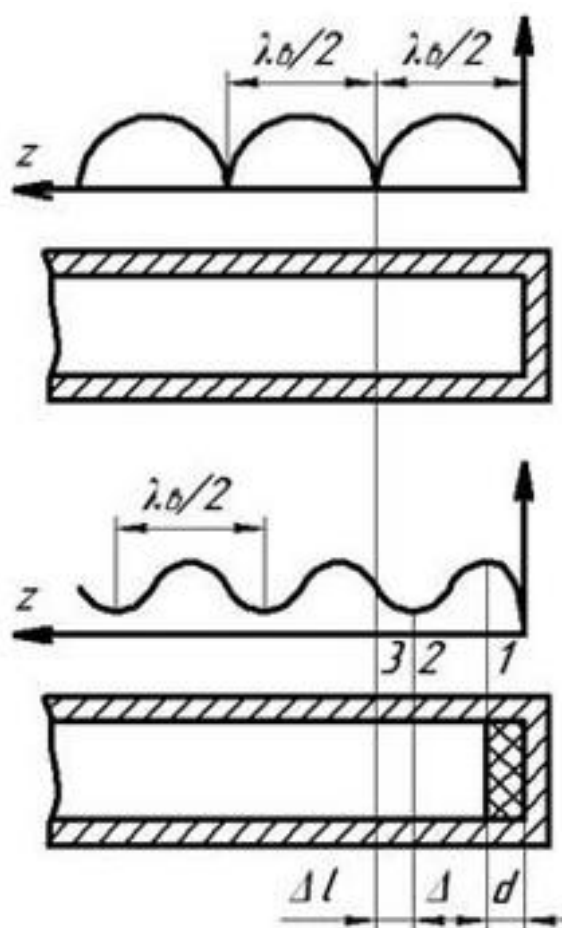


Figure 10. Interference patterns of the field in the waveguide without and with snow in the line [14]

The interference patterns show changes caused by the dielectric in the phase of the reflected wave (the minimum shifts) and in the amplitude of the reflected wave (the coefficient of the standing wave changes).

The dielectric permeability was calculated using the formula (1)

$$\varepsilon = \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{\text{в}}} \right)^2 + \left(\frac{\lambda_0}{\lambda_{\text{кр}}} \right)^2 \quad (1),$$

where $\lambda_{\text{кр}} = 2a = 2 \cdot 23 = 46 \text{ мм}$.

To determine $\text{tg}\delta$ of the dielectric we used the following formula (2),

$$\text{tg}\delta = \frac{\alpha_d 2h}{\beta^2 \epsilon} = \frac{\alpha_d \lambda_0^2}{\pi \lambda_g \epsilon} \quad (2),$$

Where α_d is the attenuation due to dielectric losses, ϵ is dielectric permittivity, and $h = 2\pi / \lambda_g$ and $\beta = 2\pi / \lambda_0$

Findings/Discussion

The snow density was measured directly by weighing snow in the container, we obtained the mass of snow $m=52$ kg. The volume of the container was $V=0.17$ m³. The estimated snow density was $d=306$ kg/m³. We measured the temperature of the snow, which was -1 °C . The maximum thickness of snow was 53 cm. The transmitting and receiving antennas with their aperture sides adjoined the walls of the container from the opposite sides, and their geometrical axes coincided. Figure 11 shows the diagram of dependence of normalized signal amplitude on the thickness of the snow layer.

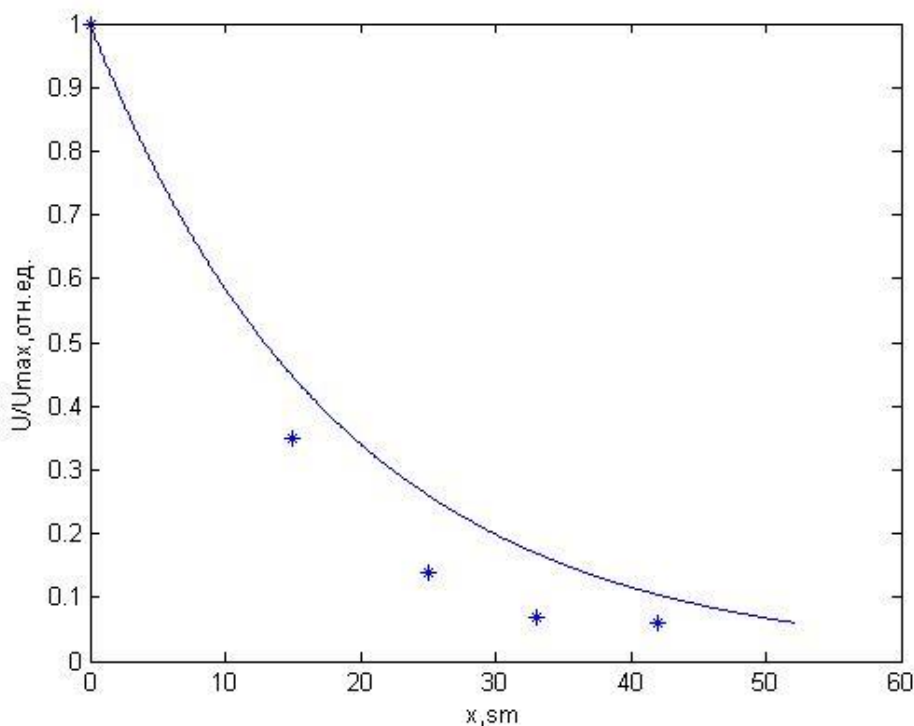


Figure11. Normalized amplitude of the microwave signal transmitted through the snow as a function of the thickness of the snow layer (* are experimental points, the curve was calculated using MatLab program)

The density of the flux of the microwave radiation I is proportional to the square of the electric field amplitude. To calculate the coefficient of snow absorption we used Bouguer's formula (3)

$$I_x = I_0 \exp(-kx) \quad (3)$$

where I_0 is the maximum intensity of microwave radiation measured in the empty container, I_x is the intensity of microwave radiation measured for the snow thickness x , k is the absorption coefficient of snow, x is the thickness of snow (I is proportional to the square of amplitude in units of voltage). To calculate k we took numerical values from the graph plotted using the experimental values. The calculations gave us the value of $k=5.58$. The calculations using the results of the waveguide method gave the following values of the snow parameters at a temperature of -1°C :

- Dielectric permeability $\varepsilon = 6.5$,
- tangent of the angle of losses $\text{tg} \delta = 1,4 \cdot 10^{-3}$.

Conclusions

The results of the experiments have shown the possibility of use of the microwave thickness indicator operating at a frequency of 10 GHz developed in our laboratory for snow measurements, and the microwave waveguide installation will enable us to measure dielectric properties of snow at the avalanche sites of ski resort Shymbulak.

Author contribution

K.B. Kadyrakunov – concept, methodology

V.E. Nikulin – resources, data collection

A.K. Nurmagambetova – interpretation, editing

A.E. Aizhanova – modeling, data collecting

R.T. Nurgalieva – analysis, visualization

References

1. Snow Guide / Edited by D.M. Grey, D.H. Male. - L.: Gidrometeoizdat. - 1986. – p.751.
2. V.M. Kotlyarov. World of Snow and Ice. M.-Nauka - 1994.-p. 43-50.
3. K.F. Voitkovsky. Avalanche Studies. - M.: MSU Print house, 1989. – p. 158.
4. A.N. Bozhinsky, K.S. Lossev. The Basics of Avalanche Studies. –L.: Gidrometeoizdat., 1987. p. 280.
5. V.P. Blagoveschensky. Determination of Avalanche Loads. A., Gylym, 1991 p.116.
6. I.V. Kondrashov. Avalanches Formation Conditions, Methodology of Forecasting and Protection in the Mountains of Kazakhstan. Synopsis of thesis for a doctor's degree in geography, Almaty: 1995, p. 40.
7. L.A. Kanayev. Scientific and Methodological Basics of Ensuring Avalanche Security. Synopsis of thesis for a doctor's degree in geography, Tashkent, 1992.

8. I.V. Seversky, V.P. Blagoveschensky. Evaluation of Avalanche Safety of the Mountaineous Areas. A., 1983 – p. 220.
9. Bolognesi R. NivoLog: An Avalanche Forecasting Support System. ISSW'98. URL: <http://www.issw.noaa.gov/hourly%20agenda.htm>.
10. J. Jap.Soc.Snow and Ice. 1996.58.N 6. PP. 469-476.
11. Buser O., Fhn, P., Gubler W., Salm B. Different methods for the assessment of avalanche danger. Cold. Reg. Sci. Technol., 1985, 10 (3), 199-218.
12. V.V. Nikolsky, T.I. Nikolskaya. Electrodynamics and Propagation of Radio Waves.M., Nauka, 1989 – p. 544.
13. K.E. Sazonov. Material Science. Material Properties. Testing Methods. Ice and Snow. – SPB.: RGGMU, 2004. – p. 194.
14. D.A. Boyarsky. Microwave Radiometry of Snow and Frozen Ground at a Frequency of 3.95 / Radiofiz. 1997. 40. No.8. PP. 1050-1059.
15. I.V. Kuznetsov, L.I. Fedoseyev. A.A. Shvetsov. Radiometry of Snow Cover in the Short-Wave Part of Millimeter Range. / Radiofiz. 1997. 40. №9. PP. 1113-1125.
16. V.A. Kudryashova, V.A. Zavizion, O.V. Betsky. Characteristics of Interaction of EHF Radiation with Water and Aqueous Solutions. / Radio electronics. 1998. №2. PP. 23–29.
17. Devices for Nondestructive Control of Materials and Products. The Reference book under the editorship of V. V. Klyuyeva. M.: Mechanical Engineering, 1986.
18. O.S. Milovanov, N.P. Sobenin. Technique of Ultrahigh Frequencies. Manual for Higher educational institutes. M.: Atomizdat, 1980.- p. 464.
19. L.G. Gassanov, A.A. Lipatov. V.V. Markov, N.A. Mogilchenko. The EHP Solid-State Devices in Equipment of Communication – M.: Radio isvyaz, 1988. – PP. 288.
20. UHP Devices and Antennas. Under the editorship of D.I. Voskressensky. 2006, p. 376.
21. V. Neganov, D. Tabakov, D. Klyeyev. UHP Devices and Antennas. Vol. 2, Theory and Engineering of Antennas. – Lenard, 2014.

К.Б. Кадыракунов, В.Э. Никулин, А.К. Нурмагамбетова, А.Е. Айжанова, Р.Т. Нурғалиева
Международный инженерно-технологический университет, Алматы, Казахстан

Исследование характеристик снега в микроволновом диапазоне для прогноза лавин

Аннотация. Сход со склона скопившейся снежной массы обычно провоцируется климатическими причинами: резкой сменой погоды (в том числе перепадами атмосферного давления, влажности воздуха), дождями, обильными снегопадами. Объем снега в лавине может доходить до нескольких миллионов кубических метров. Однако опасными для жизни могут быть даже лавины объемом около 5 м³. Для уменьшения и предотвращения указанных негативных факторов необходимо раннее прогнозирование и предупреждение возникновения лавин. Эта задача решается проведением постоянного мониторинга состояния снега и погоды на предполагаемом участке горных склонов.

Для этого в настоящее время используется множество различных методов и способов, основанных на разных физических и технических принципах. Одним из перспективных направлений является использование радиоволн сверхвысококачастотного (СВЧ) диапазона.

Работа посвящена исследованию возможности СВЧ методов для дистанционного измерения параметров снега.

Построены две экспериментальные установки для измерения различных параметров снега в микроволновом диапазоне радиоволн, предназначенные для прогнозирования лавин. Предсказатели лавин выбираются на основе физических соображений и методов математической статистики. Целью наших исследований является создание установки для исследования характеристик горного снега в лавиноопасных районах горнолыжного курорта Шимбулак. Рассмотрены основные параметры электрического снега, влияющие на процесс передачи, распространения и отражения радиоволн. В результате изменений дипольный момент увеличивается, что приводит к расширению разделительной полосы знакопеременного воздействия воды и перемещению в низкочастотную область. Результаты экспериментальных исследований затухания радиоволн в снегу использованы для расчета. Представлены коэффициенты поглощения микроволнового излучения снегом. Диэлектрическая проницаемость и тангенс угла снеготрат измерены волноводным методом.

Ключевые слова: снег, лавина, распространение радиоволн, рупорная антенна, секция волноводного детектора, комплексная диэлектрическая проницаемость, электромагнитное излучение, поглощение радиоволн.

К.Б. Кадыракунов, В.Э.Никулин, А.К. Нурмагамбетова, А.Е.Айжанова, Р.Т. Нургалиева

Халықаралық инженерлік-технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан

Қар көшкінін болжау үшін микротолқынды диапазондағы қардың сипаттамаларын зерттеу

Аңдатпа. Жиналған қар массасының беткейінен түсу әдетте климаттық себептерден туындайды: ауа-райының күрт өзгеруі (соның ішінде атмосфералық қысымның өзгеруі, ауа ылғалдылығы), жаңбыр, мол қар. Қар көшкініндегі қардың көлемі бірнеше миллион текше метрге жетуі мүмкін. Алайда, тіпті 5 м³ көлеміндегі қар көшкіні де өмірге қауіп төндіруі ықтимал. Осы жағымсыз факторларды азайту және болдырмау үшін көшкіндердің пайда болуын алдын-ала болжау және алдын-алу қажет. Бұл міндет тау беткейлерінің болжамды учаскесінде қардың жай-күйі мен ауа-райының тұрақты мониторингін жүргізу арқылы шешіледі. Ол үшін қазіргі уақытта әртүрлі физикалық және техникалық принциптерге негізделген көптеген әртүрлі әдістер мен тәсілдер қолданылады. Перспективалы бағыттардың бірі ультра жоғары жиілікті (микротолқынды) диапазондағы радио толқындарын пайдалану болып табылады. Жұмыс қар параметрлерін қашықтықтан өлшеуге арналған микротолқынды әдістердің мүмкіндігін зерттеуге арналған. Қар көшкінін болжауға арналған радио толқындарының микротолқынды

диапазонындағы әртүрлі қар параметрлерін өлшеу үшін екі эксперименттік қондырғы салынды. Қардағы микротолқынды сәулеленудің жұту коэффициентін есептеу үшін пайдаланылған қардағы радиотолқындардың әлсіреуін эксперименталды зерттеулердің нәтижелері ұсынылған. Диэлектрлік өтімділігі мен қар шығыны бұрышының тангенсі толқындау әдісімен өлшенген.

Түйін сөздер: қар, қар көшкіні, радио толқындарының таралуы, рупорлық антеннасы, толқындық детектор секциясы, кешенді диэлектрлік өтімділік, электромагниттік сәулелену, радиотолқындарды жұту.

Information about the authors:

K.B. Kadyrakunov – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Senior Lecturer, International University of Engineering and Technology, 89/21 Al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan.

V.E. Nikulin – Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, International University of Engineering and Technology, 89/21 Al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan.

A.K. Nurmagambetova – Master of Technical Sciences, Lecturer, International University of Engineering and Technology, 89/21 Al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan.

A.E. Aizhanova – Master of Technical Sciences, Lecturer, International University of Engineering and Technology, 89/21 Al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan.

R.T. Nurgalieva – Master of Technical Sciences PhD, Lecturer, International University of Engineering and Technology, 89/21 Al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan.

К.Б. Кадырақунов – кандидат физико-математических наук, старший преподаватель, Международный инженерно-технологический университет, пр. Аль-Фараби, 89/21, Алматы, Казахстан.

В.Э. Никулин – кандидат физико-математических наук, ассоциированный профессор, Международный инженерно-технологический университет, пр. Аль-Фараби, 89/21, Алматы, Казахстан.

А.К. Нурмагамбетова – магистр технических наук, лектор, Международный инженерно-технологический университет, пр. Аль-Фараби, 89/21, Алматы, Казахстан.

А.Е. Айжанова – магистр технических наук, лектор, Международный инженерно-технологический университет, пр. Аль-Фараби, 89/21, Алматы, Казахстан.

Р.Т. Нурғалиева – магистр технических наук, лектор, Международный инженерно-технологический университет, пр. Аль-Фараби, 89/21, Алматы, Казахстан.

Қ.Б.Қадырақунов – физика-математика ғылымдарының кандидаты, аға оқытушы, Халықаралық инженерлік-технологиялық университет, Әл-Фараби даңғылы, 89/21, Алматы, Қазақстан.

В.Э.Никулин – физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Халықаралық инженерлік-технологиялық университет, Әл-Фараби даңғылы, 89/21, Алматы, Қазақстан.

А.К. Нұрмағамбетова – техника ғылымдарының магистрі, лектор, Халықаралық инженерлік-технологиялық университет, Әл-Фараби даңғылы, 89/21, Алматы, Қазақстан.

А.Е. Айжанова – техника ғылымдарының магистрі, лектор, Халықаралық инженерлік-технологиялық университет, Әл-Фараби даңғылы, 89/21, Алматы, Қазақстан.

Р.Т. Нұрғалиева – техника ғылымдарының магистрі, лектор, Халықаралық инженерлік-технологиялық университет, Әл-Фараби даңғылы, 89/21, 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/>).



XҒТАР 55.03.14

Ғылыми мақала

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-154-167>

Беттік нығайтылған бөлшектердің тозуы кезінде беріктігін бағалау әдістемесі

О.Б. Сейдуллаева*^{ib}, Д.С. Мырзалиев^{ib}, З.А. Ибрагимова^{ib}

М.Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті, Қазақстан Республикасы, Шымкент

(E-mail: saule_tomynova@mail.ru)

Аңдатпа. Мақалада беттік нығайтылған бөлшектердің тозуы кезінде беріктігін бағалау әдістемесі қарастырылған. Техниканың беріктігін арттыру, ең алдымен, оның негізгі тораптарының, агрегаттарының, қосылыстары мен бөлшектерінің сенімділігін арттырумен ғана емес, сонымен қатар өндірістік процестерді орындау кезінде шығындар мен отын шығынын азайтумен де байланысты.

Машина бөлшектерінің беткі қабатының сапасы геометриялық сипаттамаларды да, физика-механикалық қасиеттерді де қамтиды. Жұмыс беттерінің кедір-бұдырлығының олардың тозуға төзімділігіне әсерін зерттеу беттің минималды кедір-бұдырлығы әрқашан оның жоғары тозуға төзімділігін қамтамасыз етпейтінін анықтады.

Тозуға төзімділік пен механикалық параметрлер арасындағы байланыс әрдайым эксперименталды түрде анықталады. Жалпыланған параметр ретінде r коэффициенті ұсынылады, оны анықтау үшін мақалада көрсетілген параметрлердің бірлескен әсерін қарастыру қажет. Шамасы, әзірленген Карбонитрация режимінің тиімділігін бағалаудың жалпыланған критерийі ретінде өнімнің өзегінің қаттылығы және беріктігімен, сондай-ақ беттік қатайтылған қабаттың қаттылығы және беріктігімен бақыланатын параметр қолданылуы керек.

Өз кезегінде кернеу қарқындылығының критикалық коэффициентін беріктік пен кірістілік шегі арқылы білдірудің бірқатар тәсілдері де мақалада қарастырылған.

Зерттеулер жүргізу кезінде «Механика және машинажасау» кафедрасында машина жасау саласындағы мемлекеттік бюджеттік және гранттық тақырыптар бойынша орындалатын ғылыми жұмыстардың белгілі нәтижелері ескерілді.

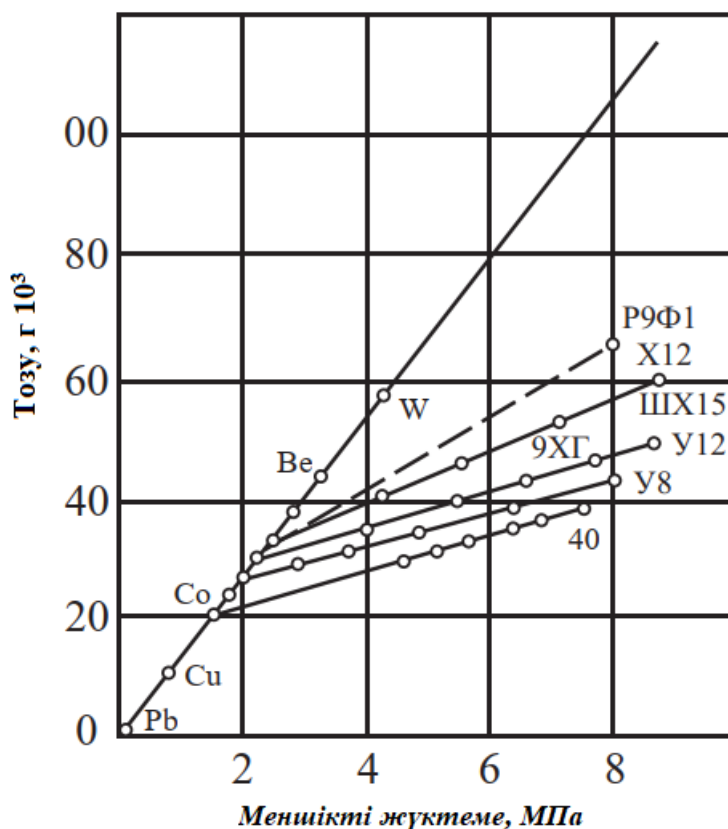
Түйін сөздер: тозуға төзімділік, беріктік, ұзақ мерзімділік, механикалық өңдеу, карбонитрация.

Түсті 28.11.2023 Жөнделді 16.06.2024 Мақұлданды 20.06.2024 Онлайн қолжетімді 30.06.2024

* хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Карбонитрация процесінің уақыты мен температурасын өзгерте отырып, бетті берілген тереңдікке және жер бетіне жақын қабаттағы карбонитридтердің тиісті құрамына қатайтуға болады [1], [4] сәйкес болаттардың тозуға төзімділігін арттыру үшін өнімнің тозуға төзімділігі мен шаршау қасиеттеріне анықтаушы әсер ететін карбонитрацияның оңтайлы температурасын анықтау қажет. Сонымен қатар, Карбонитрация температурасының 550-650⁰С-тан 750⁰С-қа дейін көтерілуі 1-суретте көрсетілгендей тозуға төзімділіктің жоғарылауына әкелмейді. керісінше [4],



1 - 5500С; 2- 6500С; 3 - 7500С

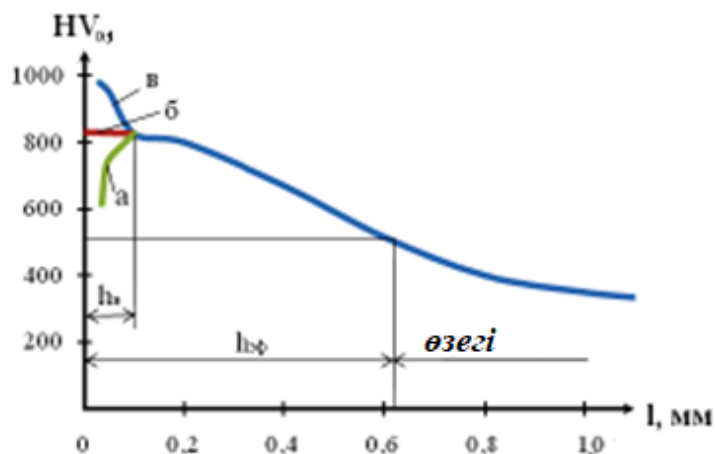
1-сурет. Болаттың тозуға төзімділігінің Карбонитрация температурасына тәуелділігі

Әдіснама

Машина бөлшектерінің беткі қабатының сапасы геометриялық сипаттамаларды да, физика-механикалық қасиеттерді де қамтиды. Жұмыс беттерінің кедір-бұдырлығының олардың тозуға төзімділігіне әсерін зерттеу беттің минималды кедір-бұдырлығы әрқашан оның жоғары тозуға төзімділігін қамтамасыз етпейтінін анықтады [8]. Беткі қабаттың қатаюы НВ қаттылығын немесе микроқаттылықты өлшеу арқылы анықталады. Ол үшін қаттылық металдың бетінде және металдың ішінде өлшенеді

(қабатты ою арқылы). Нәтижесінде h қатайтылған қабатының қалыңдығы және δ деформациялық қатаю дәрежесі, сондай-ақ өңдеуге дейін және одан кейін микроқаттылық $HV_{шығ}$ пен $HV_{өңдеу}$ беткі қабат пен өзек орнатылады.

Қаттылық пен микроқаттылықтың қатайтылған қабаттың тереңдігі бойынша таралуын зерттеу микроқаттылықтың айтарлықтай төмендеуін анықтады, ал 0,5-0,6 мм тереңдікте микроқаттылық екі есеге жуық төмендейді [9]



- а – троостит жолағының болуы;
- В – троостит жолағының болмауы;
- в – ата өңдеуден кейін,
- h_B – троостит жолағының қалыңдығы, мм
- h_{ϕ} – тиімді қабаттың тереңдігі, мм

2-сурет. Күшейтілген қабаттың тереңдігі бойынша микроқаттылықтың өзгеруі [9]

Оңтайлы өңдеу режимдерінің қатайту процестеріне әсерін анықтау үшін шыңдау процесін модельдеу жүргізілді. Жалпыланған параметр функциясын келесідей көрсетуге болады:

$$K = f(HB, R_a, h, E, \sigma_B, \sigma_{0.2}, \sigma_K, \delta, KCV), \quad (1)$$

мұндағы HB – Бринелл қаттылығы, МПа,

R_a – беттің кедір-бұдырлығы, мкм;

h – күшейтілген қабаттың тереңдігі,

E – қалыпты серпімділік модулі, ГПа;

σ_B – беріктік шегі,

$\sigma_{0.2}$ – аққыштық шегі, МПа,

σ_K – жанасуға төзімділік шегі, МПа,

δ – деформацияның шыңдалуы,

KCV – соққыға төзімділігі, Дж/м².

Тозуға төзімділіктің карбониттеу процесінің температурасы мен уақыты, шынықтырылған қабаттың құрылымдық және физика-химиялық құрамына, сонымен қатар аққыштық, қаттылық және соққыға төзімділік сияқты механикалық сипаттамалар сияқты технологиялық процестің параметрлеріне тәуелділігі. Тозуға төзімділікті болжау критерийі негізгі параметр ретінде Бринелл немесе Роквелл қаттылығын пайдалану ұсынылады. Егер есептеулерде аққыштық шегі қолданылса, онда экспресс әдіс қаттылықты анықтайды, ал аққыштық күшін [6]-да көрсетілгендей, сызықтық қатынас түрінде қаттылық деңгейі бойынша болжауға болады:

$$\sigma_{0,2} = 3,1647 \cdot HB - 157,08 \text{ (MPa)} \quad (2)$$

Осылайша, тозуға төзімділікті болжау үшін, мысалы, 1-суретте көрсетілгендей, тәжірибелік тозуға төзімділік деректері болмаған жағдайда қаттылық параметрі қолданылады.

Болжаудың екінші кезеңі статикалық және шаршау сызаттарының басталу және даму процесін бағалауға негізделген қосылыс бөліктерінің беріктігін есептеуден тұрады.

Тозуға төзімділік пен механикалық параметрлер арасындағы байланыс әрдайым дерлік тәжірибе арқылы анықталады. Жоғарыда көрсетілген параметрлердің бірлескен әсерін ескеру қажет екенін анықтау үшін жалпыланған параметр ретінде p коэффициенті ұсынылады (1-теңдеу). Көрінетіндей, әзірленген карбониттеу режимінің тиімділігін бағалаудың жалпы критерийі ретінде өнімнің өзегінің қаттылығы және беріктігімен, сондай-ақ беткі қатайтылған қабаттың қаттылығымен және беріктігімен бақыланатын параметрді пайдалану керек. Ұзындығы $l_{кр}$ болатын жарықшақтың критикалық ұзындығын мына түрде көрсетейік:

$$K_{1C} = \sigma_{0,2} \sqrt{\pi} l_{кр} \quad (3)$$

Өз кезегінде, соққы күші мен аққыштық күші арқылы критикалық кернеу қарқындылығы коэффициентін көрсетудің бірқатар тәсілдері бар. Жалпы бұл тәуелділік [10] формасына ие;

$$\left(\frac{K_{1C}}{\sigma_{0,2}} \right)^2 = A \left(\frac{KCV}{\sigma_{0,2}} - B \right), \quad (4)$$

Мұндағы: K_{1C} – кернеудің критикалық интенсивтілігінің коэффициенті,

$\sigma_{0,2}$ – біздің бөлшектің негізгі материалы жағдайында аққыштық шегі,

KCV – соққыға төзімділік,

A және B – эмпирикалық коэффициенттер

Осы өрнектен K_{1C} анықтайық және аққыштық шегін (2) теңдеуіне ұқсас өрнекпен ауыстырып, ол жалпы аққыштық пен қаттылық арасындағы байланысты өрнектейді, түрлендірулерден кейін теңдеуді аламыз;

$$K_{1C}^2 = \alpha (KCV) - \beta (HRC)^2 + C, \quad (5)$$

мұндағы α , β және C коэффициенттері шынықтыруға дейін және одан кейінгі үлгілерді сынау арқылы анықталатын эмпирикалық коэффициенттер.

Бұл коэффициенттер сызат ұшындағы деформацияланатын көлем мен зерттелетін материалдың қаттылығы, иілгіштігі және соққыға төзімділігі арасындағы байланысты көрсетеді.

Алынған теңдеу және оның құрылымы беткі қабаттың тозуға төзімділігін және қаттылығын арттыру үшін карбониттеуден кейін бөлшектердің жарықшаққа төзімділігінің өзгеруіне келесі түсініктемені қабылдауға мүмкіндік береді. (4) теңдеуінің құрылымынан көрініп тұрғандай, кернеу қарқындылығының коэффициенті соққы күшімен, ал аққыштық шегінің өзгеруі материалдың қаттылығымен корреляцияланады. (5) теңдеуде көрсетілген коэффициенттер сызат ұшындағы деформацияланатын көлем мен зерттелетін материалдың қаттылығы, иілгіштігі және соққыға беріктігі арасындағы байланысты көрсетеді.

Бұл мәселені шешу өнімді жасау мен пайдаланудың әртүрлі кезеңдерінде қабылданған шараларға байланысты. Бөлшектерді дайындау сатысында бөлшектердің қажу мен тозуға төзімділігін арттыру әртүрлі әдістермен жүзеге асырылады. Цементтелген, нитрокарбюрзацияланған, борланған және хромдалған бөлшектердің жоғары беріктігі мен тозуға төзімділігі, сондай-ақ бұл технологиялық процестердің тұрақтылығы оларды өте тиімді етеді. Алайда, кемшілігі ретінде көптеген зерттеушілер химиялық-термиялық процестер әдетте құрылымдық өзгерістердің температурасынан жоғары температурада жүретінін атап өтеді [4].

Пайда болған беткі қабаттың микросколдар ақаулардың көзі болып табылады. Темірдің азотпен және темірдің көміртегімен түзілген қосылыстары аустенит-феррит матрицасынан едәуір қиын болғандықтан, ыдырау осы негізгі көлемге байланысты болады. Деформациялық қартаюға байланысты болаттардың беріктігі мен икемділігінің сипаттамаларын зерттеудің белгілі нәтижелері [6] деформациялық қатаю коэффициенттеріне беріктіктің әсерін бағалауға мүмкіндік береді.

Деформацияның қатаю n_T көрсеткішін деформацияның бастапқы кезеңіндегі деформация интервалында $e_T = 0.002$ (шартты аққыштық шегінен) аққыштық шегіне сәйкес келетін деформацияға дейінгі күштік тәуелділік $\sigma_e = A \cdot e^n$ түрінде созылу кезіндегі деформация қисығы арқылы анықтауға болады. Логарифмдік координаттарда кернеу-деформация тәуелділігін түзу сызықты тәуелділік түрінде елестетіп көрейік, содан кейін аламыз:

$$n_T = \frac{\lg S_B - \lg \sigma_{0,2}}{\lg e_p - \lg e_T}, \quad (6)$$

Ақауы бар болат үлгісінің бұзылу шарты түрінде жазылады [6]:

$$e \geq \varepsilon_{кр} \quad (7)$$

(7) теңдеуді ескере отырып $e_T = 2 \cdot 10^{-3}$ аламыз:

$$\lg R_{mc} = \lg \sigma_e + \lg j, \quad (8)$$

мұндағы: R_{mc} – микросколға төзімділік,

Параметр $j = \frac{\sigma_{1max}}{\sigma_i}$ кернеу күйінің қаттылығының мағынасы бар, δ_i – кернеудің

қарқындылығы

Жұмыста [6] сонымен қатар Болаттың тұтқырлық қорын сипаттайтын $K_{BC} = \frac{R_{mc}}{\sigma_e}$ ағымдағы коэффициент ұсынылады.

(3.6.9) теңдеуі келесідей өзгереді:

$$\lg \sigma_e = \lg \sigma_{0,2} + n_T \cdot \frac{\varepsilon_{кр}}{e_T}, \quad (9)$$

Сыну орын алатын критикалық деформацияның шамасы:

$$\varepsilon_{кр} = 2 \cdot 10^{-3} \left(\frac{K_B}{j} \right)^{\frac{1}{n_T}}. \quad (10)$$

Микроақауы бар материалдың ақауға төзімділік параметрін [6] келесідей жазамыз:

$$D_2 = \lg K_B - n_T \quad (11)$$

Бұл параметр ақауы бар материалдың сынғыш бұзылуына төзімділікті көрсетеді. Физикалық мағынасы, [6] сәйкес, ақауға төзімділік Болаттың қалдық икемділігімен

байланысты және берілген күштің ақауы (j) үшін $D_2 \geq \lg j_k$ теңсіздік орындалуы керек.

Келтірілген деректерді талдау [6] деформацияның қатаю көрсеткішін мысалы, белгілі бір тереңдіктегі жарықшақты имитациялайтын сақиналы кесіндісі бар цилиндрлік сынамалар жойылған кезде эксперименттік мәліметтерден анықтауға болатындығын көрсетті. Сонымен қатар, ақаудың мөлшері Болат құрылымының дәнінің мөлшерімен салыстырылады. Көрсеткіш n_T 20-болат үшін 0,20-0,24 шамасында мәндерді қабылдайды, бұл ретте критикалық деформация мәндері қалдық деформация $\varepsilon_{кр} = 0,13 - 0,98$ кезінде 0,16-0,96 көрсетіледі, өйткені сынғыш микрокректердің өсуі кейбір деректер бойынша 0,02-0,06% шамасында деформациялар кезінде басталады, мұндай тәсіл ең сенімді болып көрінеді.

Термомеханикалық әсер ету жағдайында деформацияның қатаю көрсеткішінің мәні қоршаған орта мен механикалық жүктеменің бірлескен әсерін ескере отырып, температураға да тәуелді және критикалық деформация деңгейін анықтайды [7].

Алайда, коррозиялық крекинг және коррозиялық шаршау кезінде сынуға дейінгі уақыт мәні мен деформациялық қатаю көрсеткіші өзгеруі мүмкін [7].

Көрсетілген коэффициент аққыштық шегінің өзгеруін тікелей көрсететіндіктен, зақымданудың беткі қабаттың икемділігі мен қаттылығына тәуелділігі жалпыланған параметр ретінде енгізілуі керек. Химиялық-термиялық өңдеудің тиісті режимі бар әртүрлі партиялардан алынған үлгілер сериясындағы коэффициенттерді эксперименттік анықтау (6) теңдеуінің коэффициенттерін анықтауға мүмкіндік береді, мұндағы: KCV – соққы тұтқырлығы, α , β және C – эмпирикалық коэффициенттер.

Бөлшектердің құрылымдық ерекшеліктерінің пайдалану сенімділігіне әсері негізінен сыртқы жүктемелердің әсерінен ішкі кернеулердің біркелкі емес таралу аймақтарының пайда болуына әкелетін бөлшектердің геометриялық ерекшеліктері болған жағдайларда көрінеді. Кернеу концентраторлары аймағындағы кернеу жағдайын бағалау және олардың машина жасау өнімдерінің беріктігіне әсерін ескеру өзекті міндет болып табылады. Кернеу концентраторлары ретінде бөлшектердің құрылымдық элементтерінің геометриялық ерекшеліктері де болуы мүмкін, мысалы, бір білік диаметрінен екіншісіне күрт ауысу, сонымен қатар ішкі ақаулар мен беттік ақаулар, беттің сапасыз өңделуіне байланысты.

Статистикалық фактордың әсері үлгілердің көлемінің ұлғаюымен шаршау жарықтарының пайда болу ошақтары болып табылатын материал құрылымындағы ақаулардың ықтималдығының жоғарылауымен байланысты. Статистикалық немесе масштабты фактордың әсері (абсолютті өлшемдер) арнайы коэффициентпен ескеріледі [3]:

$$K_{d\sigma} = \frac{\sigma_{-1d}}{\sigma_{-1}}, \quad (12)$$

мұндағы: σ_{-1d} – кернеу концентрациясы жоқ d диаметрлі үлгілердің төзімділік шегі;
 σ_{-1} – бірдей кіші стандартты диаметрлі үлгілердің төзімділік шегі ($d_0=7,5$ мм)

В.П. Когаевтың жұмысында кернеулердің ауқымды әсері мен шоғырлануы егжей-тегжейлі қарастырылған [8].

Төмен циклдік жүктеме кезінде кернеулерді аққыштық шегімен салыстыруға болады, бұл жағдайда $2\sigma_a > \sigma_T$, сәйкес [3]:

$$\sigma_a = K_e \delta_H / 2, \quad (13)$$

мұндағы: K_e – Нейбердің тәуелділігімен анықталатын серпімді пластикалық аймақтағы деформация концентрациясының коэффициенті:

$$K_\sigma \cdot K_e = \alpha_0^2, \quad (14)$$

мұндағы: α_0 – кернеу концентрациясының теориялық коэффициенті кестелер бойынша таңдалады;

K_σ – серпімді пластикалық аймақтағы кернеу концентрациясының коэффициенті,

$$K_{\sigma} = \frac{\sigma_T}{\sigma_H} \quad (15)$$

– аққыштық σ_T пен созылу беріктігінің σ_B мәндерін қабылдау керек:

– егер сынау кезінде және мәндері мемлекеттік стандарттар [4] және болатқа арналған техникалық шарттар талаптарына сәйкес келсе – осы құжаттарда көрсетілген ең төменгі мәнге сәйкес

– егер сынау кезінде σ_T және σ_B мәндер мемлекеттік стандарттарда немесе болатқа арналған техникалық шарттарда көзделгеннен төмен болса, онда нақты мәндер ауыстырылуы керек.

Технологиялық параметрлер (беттік өңдеу сапасы, бетті шынықтыру әдістері, геометриялық пішіннің дәлдігі)

Беттік өңдеу сапасы бөлшектердің шаршау сипаттамаларына айтарлықтай әсер ететін анықтаушы факторлардың бірі болып табылады.

Кедір-бұдырдың әсерін ескеру үшін төзімділік шегін төмендету коэффициенті енгізіледі:

$$K_{F\sigma} = \frac{\sigma_{-1}(R_z)}{\sigma_{-1}}, \quad (16)$$

мұндағы: R_z – беттің кедір бұдырлығы көрсеткіші [2].

Зертханалық үлгілер жұмыс бетінің кедір-бұдырына дейін мұқият жылтыратылған $R_z < 1$ мкм.

[8] сәйкес өңдеу коэффициентінің кедір-бұдырға тәуелділігінің корреляциялық қатынасы кестелерде келтірілген.

Коэффициент кедір-бұдырға байланысты, мысалы, алюминий қорытпалары үшін σ_B және R_z

Деформацияланатын алюминий қорытпалары үшін бетті өңдеу сапасына тәуелділік коэффициентінің индикативті мәндері, яғни беттің кедір-бұдырлығы 1 кестеде келтірілген.

Кесте 1. Беттік өңдеу сапасының коэффициентінің беттің кедір-бұдырлығына тәуелділігі

Соңғы өңдеу	Кедір-бұдырлық параметрлері R_z , мкм	$K_{F\sigma}$
Жылтырату	0,5...1,0	1,00
Тегістеу	1,5...2,0	0,96-0,98
Таза бұралу	4...10	0,87-0,94
Бұрылу	10...15	0,84-0,88
Өрескел бұралу	20...30	0,78-0,83
Өте өрескел бұралу	50...100	0,70-0,75

Нәтижелер және талқылау

Беттік қатайтудың физика-химиялық немесе химиялық-термиялық әдістерін қолданған жағдайда, төзімділік шегінің едәуір артуы байқалады, бұл бөліктің беткі қабатында қалдық кернеулердің пайда болуымен түсіндіріледі және оның қаттылығының айтарлықтай жоғарылауымен бірге жүреді.

Уақыт кедергісін және сәйкес қаттылықты арттыру арқылы беттік беріктіктің әсер ету коэффициентін төзімділік шегіне тәуелділік арқылы анықтауға болады:

$$K_V = \frac{\sigma_{-1(\text{упр})}}{\sigma_{-1}}, \quad (17)$$

мұндағы: $\sigma_{-1(\text{упр})}$ сынау кезіндегі төзімділік шегі, қатаюдан кейін.

Мұнда беттік қатайту әдістерінің негізгі түрлері келтірілген:

– беттік пластикалық деформация (БПД) фракциямен үрлеу, роликтермен илектеу, Гауһар үтіктеу, соғу, тесіктерді илемдеу және т. б.;

– химиялық-термиялық әдістер (цементтеу, азоттау, циандау (көміртегі мен азотпен бір мезгілде Болаттың беткі қабатының диффузиялық қанығу процесі) және т. б.);

– жоғары жиілікті токтармен жылумен беттік сөндіру;

– сәулелік әдістер: лазерлік өңдеу, иондық имплантация, электронды сәулелік өңдеу;

– аралас әдістер.

Беттік қатайту әдістері төзімділік шегінің 1,2...3 есе артуына әкелуі мүмкін. Әсер, басқалармен қатар, құрылымдық элементтің жұмыс жағдайына байланысты (жүктеме, температура, орта және т.б.) және қатайтылған және қатайтылмаған үлгілер мен бөлшектерді тікелей сынау арқылы орнатылады [2]. K_V коэффициентін анықтауға арналған кейбір анықтамалық мәліметтер 2 және 3 кестелерінде келтірілген.

2-Кесте. Беттік қатаюдың әсері

Жоғары жиілікті токтармен бетті шынықтыру әсері (айналумен иілу, шыңдалған қабат тереңдігі 0,9-1,5 мм)	Үлгі диаметрі үшін K_V	
Үлгі түрі	7-20 мм	30-40 мм
Кернеу концентрациясы жоқ	1,3-1,6	1,2-1,5
Кернеу концентрациясымен	1,6-2,8	1,5-2,5

3-Кесте. Химиялық-термиялық өңдеу түрінің әсері

Химиялық-термиялық өңдеу сипаттамасы	Үлгі түрі	Үлгі диаметрі үшін K_V		
		8-15 мм	10 мм	30-40 мм

Қабаттың тереңдігінде азот-тау (N) 0,1-0,4 мм, қабаттың қаттылығы 730.970 Н В	Кернеу концентрациясы жоқ	1,15-1,25	-	1,10-1,15
	Кернеу концентрациясымен (көлденең, тесік, кесу)	1,90-3,00	1,30-2,00	
0,2-0,6 мм қабат тереңдігінде цементтеу (С)	Кернеу концентрациясы жоқ	1,20-2,10	1,10-1,50	

Шаршау шегі мен материалдардың беріктік шегі арасында бір мәнді байланыс орнатылмаған, бірақ беріктік сипаттамалары неғұрлым жоғары болса, соғұрлым шаршау шегі де соғұрлым жоғары болады. Алайда, жоғары беріктігі бар материалдар кернеу концентрациясына жоғары сезімталдыққа ие, бұл олардың беріктік артықшылықтарын жоққа шығаруы мүмкін. Сондықтан, мұндай бөлшектерді жобалау кезінде кернеу концентраторларының әсерін ескеріп, дизайнды өте мұқият өңдеу керек. Материалдың беріктігінің жоғарылауымен оның бетінің күйіне сезімталдығы артады. Конструктордың қолында бөлшектердің шаршау беріктігі мен сенімділігін арттыруға мүмкіндік беретін әдістердің кең спектрі бар.

Ортаның циклдік шаршауға әсерін олардың әсер ету жылдамдығының жарықтардың даму жылдамдығына сәйкес қарастырған жөн. Көптеген жұмыстар ортаның агрессивтілігінің жоғарылауымен хабтың әсері әлсірейтінін көрсетеді. Кернеу деңгейі неғұрлым жоғары болса, кернеу концентраторларының әсері ортаның салыстырмалы түрде аз әсерімен соғұрлым күшті болады [7].

Қорытынды

Жүргізілген зерттеулер мен әдеби деректерді талдау нәтижесінде қазіргі уақытта бұйымдардың берілген дәлдігі мен олардың бетінің жоғары сапасын қамтамасыз ету мақсатында олардың пайдалану жүктемесін және бөлшектерді механикалық және беттік өңдеудің технологиялық процесін одан әрі дамытуды ескере отырып, бұйымдардың беріктігін болжау әдістерін одан әрі жетілдіру қажеттілігі туындағаны анықталды.

Жүк көтергіш беттердің тозуының шекті мәндерінің пайдалану жүктемелері кезінде машина бөлшектерінің жұмыс қабілеттілігіне әсерін зерттеу Пайдалану кезінде бөлшектердің беріктігін болжау есептеулерінің модельдері мен әдістерін жасауға мүмкіндік береді.

Авторлардың қосқан үлесі:

О.Б. Сейдуллаева, Д.С.Мырзалиев – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар, мәліметтер жинау.

З.А. Ибрагимова – талдау, визуализация, интерпретация, жазу, өңдеу, қаржыландыру.

Әдебиеттер тізімі

1. Сидоров С.А. Технический уровень и ресурс рабочих органов сельхозмашин. // Тракторы и сельскохозяйственные машины. – 1998. – № 3. – С. 29–33.

2. Ткачев В.Н., Фиштейн Б.Ч., Казинцев Н.В., Алдырев Д.А. Индукционная наплавка твердых сплавов. – М.: Машиностроение, 1970. – 184 с.
3. Иванайский В.В., Ишков А.В., Кривочуров Н.Т. и др. Влияние природы борлирующего агента, флюсов и активаторов на характеристики покрытий, полученных при скоростном борировании легированных сталей // Ползуновский вестник. – 2010. – № 3. – С. 201–203.
4. Ишков А.В., Кривочуров Н.Т., Мишустин Н.М. и др. Износоустойкие боридные покрытия для почвообрабатывающих органов сельхозтехники // Вестник Алтайского государственного аграрного университета. – 2010. – № 9. – С. 71–74.
5. Химикотермическая обработка металлов и сплавов / Справочник под редакцией Л.С. Ляховича. – М.: Металлургия, 1981. – 424 с.
6. Ворошнин Л.Г., Ляхович Л.С. Борирование стали. – М.: Металлургия, 1978. – 239 с.
7. Эвери Д., Бэкофен В. Зарождение и рост усталостных трещин // Разрушение твердых тел. - М: Металлургия, 1967. – С.146-190.
8. Когаев В.П. Расчеты на прочность при напряжениях, переменных во времени / В.П. Когаев. – М.: Машиностроение, 1977. – 232 с.

О.Б Сейдуллаева, Д.С.Мырзалиев, З.А. Ибрагимова

Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова, Республика Казахстан, Шымкент

Методика оценки долговечности при изнашивании поверхностно упрочненных деталей

Аннотация. В статье рассмотрена методика долговечности при изнашивании поверхностно упрочненных деталей. Повышение прочности техники связано, прежде всего, не только с повышением надежности ее основных узлов, агрегатов, соединений и деталей, но и со снижением затрат и расхода топлива при выполнении производственных процессов.

Качество поверхности деталей машин включает как геометрические характеристики, так и физико-механические свойства. Исследование влияния шероховатости рабочих поверхностей на их износостойкость показало, что минимальная шероховатость поверхности не всегда обеспечивает ее высокую износостойкость

Связь между износостойкостью и механическими параметрами всегда определяется экспериментально. В качестве обобщенного параметра предлагается коэффициент r , для определения которого необходимо рассмотреть совместный эффект указанных в статье параметров. По-видимому, в качестве обобщенного критерия оценки эффективности разработанного режима Карбонитрации следует использовать параметр, контролируемый твердостью и прочностью сердцевины изделия, а также твердостью и прочностью поверхностно-упрочненного слоя.

В свою очередь, в статье рассмотрен ряд способов выражения критического коэффициента интенсивности напряжения через предел прочности и текучести.

При проведении исследований учитывались известные результаты научных работ, выполняемых на кафедре «Механика и машиностроение» по государственным бюджетным и грантовым темам в области машиностроения.

Ключевые слова: износостойкость, прочность, долговечность, механическая обработка, карбонитрация.

O.B. Seidullayeva, D. S. Myrzaliyev, Z.A. Ibragimova

M. Auezov South Kazakhstan University, Republic of Kazakhstan, Shymkent

Methodology for assessing durability during wear of surface-hardened parts

Abstract. The article considers the method of durability during wear of surface-hardened parts. The increase in the strength of equipment is primarily due not only to an increase in the reliability of its main components, aggregates, connections and parts, but also to a reduction in costs and fuel consumption during production processes.

The surface quality of machine parts includes both geometric characteristics and physical and mechanical properties. The study of the influence of the roughness of working surfaces on their wear resistance has shown that the minimum surface roughness does not always ensure its high wear resistance.

The relationship between wear resistance and mechanical parameters is always determined experimentally. The coefficient p is proposed as a generalized parameter, to determine which it is necessary to consider the combined effect of the parameters specified in the article. Apparently, as a generalized criterion for evaluating the effectiveness of the developed carbonitration regime, a parameter controlled by the hardness and strength of the core of the product, as well as the hardness and strength of the surface-hardened layer, should be used.

In turn, the article considers a number of ways to express the critical stress intensity coefficient through the tensile strength and yield strength.

The research took into account the well-known results of scientific work carried out at the Department of Mechanics and Mechanical Engineering on state budget and grant topics in the field of mechanical engineering.

Keywords: wear resistance, strength, durability, machining, carbonitration.

References

1. Sidorov S.A. Tekhnicheskiy uroven' i resurs rabochikh organov sel'khoz mashin. // Traktory i sel'skokhozyaystvennyye mashiny. [Sidorov S.A. Technical level and resource of working parts of agricultural machines. // Tractors and agricultural machines] – 1998. – № 3. – S. 29–33.
2. Tkachev V.N., Fishteyn B.Ch., Kazintsev N.V., Aldyrev D.A. Induktsionnaya naplavka tverdykh splavov. – M.: Mashinostroyeniye, [Tkachev V.N., Fishteyn B.Ch., Kazintsev N.V., Aldyrev D.A. Induction surfacing of hard alloys. – M.: Mechanical Engineering] 1970. – 184 s.
3. Ivanayskiy V.V., Ishkov A.V., Krivochurov N.T. i dr. Vliyaniye prirody boriruyushchego agenta, flyusov i aktivatorov na kharakteristiki pokrytiy, poluchennykh pri skorostnom borirovaniy legirovannykh staley // Polzunovskiy vestnik. [Ivanayskiy V.V., Ishkov A.V., Krivochurov N.T. and others. The influence of the nature of the boriding agent, fluxes and activators on the characteristics of coatings obtained during high-speed boriding of alloy steels // Polzunovsky Bulletin. – 2010. – № 3. – S. 201–203.

4. Ishkov A.V., Krivochurov N.T., Mishustin N.M. i dr. Iznosoostoykiye boridnyye pokrytiya dlya pochvoobrabatyvayushchikh organov sel'khoztekhniki // Vestnik Altayskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. [Ishkov A.V., Krivochurov N.T., Mishustin N.M. and others. Wear-resistant boride coatings for tillage implements of agricultural machinery // Bulletin of the Altai State Agrarian University.] – 2010. – № 9. – S. 71–74.
5. Khimikotermicheskaya obrabotka metallov i splavov / Spravochnik pod redaktsiyey L.S. Lyakhovicha. – М.: Metallurgiya, [Chemical-thermal processing of metals and alloys / Handbook edited by L.S. Lyakhovich. – М.: Metallurgy] 1981. – 424 s.
6. Voroshnin L.G., Lyakhovich L.S. Borirovaniye stali. – М.: Metallurgiya, [Voroshnin L.G., Lyakhovich L.S. Boriding of steel. – М.: Metallurgy] 1978. – 239 s.
7. Everi D., Bekofen V. Zarozhdeniye i rost ustalostnykh treshchin // Razrusheniye tverdykh tel- М: Metallurgiya, [Avery D., Bakofen V. Origin and growth of fatigue cracks // Fracture of solid bodies - М: Metallurgy] 1967-s146-190.
8. Kogayev, V.P. Raschety na prochnost' pri napryazheniyakh, peremennykh vo vremeni / V.P. Kogayev. – М.: Mashinostroyeniye, [Kogayev, V.P. Strength calculations under time-varying stresses / V.P. Kogayev. – М.: Mashinostroenie] – 1977. – 232 s.

Авторлар туралы мәлімет:

Сейдуллаева Орынгул Бахытқызы – магистр, оқытушы, «М.ӘУЕЗОВ атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы.

Сейдуллаева Орынгул Бахытовна – магистр, преподаватель НАО «Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

Seydullayeva Oryngul Bakhytkyzy – Master's degree, a teacher NAO «M.Auezov South Kazakhstan University», Faculty of Mechanics and oil and gas engineering, Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan

Мырзалиев Дархан Сапарбайұлы – т.ғ.к., доцент, «М.ӘУЕЗОВ атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

Мырзалиев Дархан Сапарбаевич – к.т.н., доцент НАО «Южно-Казахстанский университет им.М.Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

Myrzaliev Darkhan Saparbaevich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of NAO «M.Auezov South Kazakhstan University», Faculty of Mechanics and oil and gas engineering, Shymkent, 160016, Republic of Kazakhstan

Ибрагимова Зауре Асилбекқызы – PhD доктор, доцент, «М.ӘУЕЗОВ атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті» КЕАҚ, «Механика және мұнайгаз ісі» факультеті, Шымкент, 160016, Қазақстан Республикасы

Ибрагимова Зауре Асилбековна – PhD доктор, доцент НАО «Южно-Казахстанский университет им. М. Ауэзова», Шымкент, 160016, Республика Казахстан.

Ibrahimova Zaure Asilbekovna – PhD Doctor, Associate Professor of the NAO «M. Auezov South Kazakhstan University», Faculty of Mechanics and oil and gas engineering, Shymkent, 160016, 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 47.61.33

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-168-187>

Научная статья

Измерение распределения дозы гамма-излучения с помощью дрона дискретным методом измерения

А. Молнар 

Университет Обуда (Óbudai Egyetem), H-1034, Bécsi út 96/b, г. Будапешт, Венгрия

(E-mail: molnar@uni-obuda.hu)

Аннотация. С помощью детектора гамма-излучения, установленного на беспилотном летательном аппарате, было создано несколько карт распределения доз. На основе результатов и опыта, полученного в ходе экспериментов, были выявлены недостатки системы, а также возможности для дальнейшего развития. Основной целью разработки было создание более компактной, легко переносимой и развертываемой системы, но при этом, в отличие от предыдущих, более чувствительной. Несмотря на фоновое излучение (обычно 0,01 Зв/ч в зонах тестирования), в ходе проведенных до сих пор экспериментов была достоверно обнаружена разница в +0,009 Зв/ч. В данной разработке это значение было успешно снижено до +0.005 - +0.007 С/ч. Повышение чувствительности было достигнуто главным образом за счет увеличения времени измерения в каждой точке, что было реализовано с помощью специального программного обеспечения для управления полетом. Такое увеличение чувствительности позволяет либо увеличить высоту сканирования (приблизительно на +1-2 м), либо, в случае использования идентичного летательного аппарата на одинаковой высоте, увеличить площадь обзора за один взлет. Естественно, высота сканирования или скорость сканирования могут значительно увеличиться, если активность источника поиска высока. В наших экспериментах мы использовали природный урановый минерал (Autunit), активность которого намного ниже, чем у искусственно полученных изотопов. В этой серии экспериментов мы также рассмотрели идентификацию нескольких источников, которая моделирует возможность составления карт активных источников, разбросанных по месту возможной аварии. Основное преимущество разработанной и внедренной нами системы перед используемыми на практике процедурами обследования заключается в том, что ее легко мобилизовать, можно обследовать большую площадь с низкими затратами, не подвергая риску оператора в полевых условиях. Цель системы - обнаружить присутствие источника и локализовать его до такой степени, чтобы впоследствии можно было легко определить местоположение вручную или с помощью других наземных процедур. Поскольку мы не стремимся к сантиметровой точности определения местоположения, для измерений достаточно стандартной GPS-локализации. Во время измерений географические координаты интерпретируются в системе WGS'84. Круги, обозначающие координаты широты и долготы, также показаны в этой системе на представленных рисунках

Ключевые слова: дрон, детектор, гамма-излучения, счетчик Гейгера-Мюллера, датчик, отенит.

Введение

С помощью детектора гамма-излучения, установленного на дроне, было создано множество карт распределения доз радиации. По результатам и опыту экспериментов были выявлены недостатки системы и возможности ее дальнейшего развития. Основная цель разработки - сделать систему более компактной, удобной для переноса и монтирования, но чувствительнее, чем раньше. В предыдущих экспериментах удалось достоверно зафиксировать отклонение $+0,009$ мкЗв/ч., по сравнению с фоновым излучением (для области исследования обычно $0,01$ мкЗв/ч). В настоящей разработке значение было снижено до $+0,005$ - $+0,007$ мкЗв/ч. Улучшение чувствительности было достигнуто, в первую очередь, за счет увеличения времени измерения на точку измерения, чему способствовало применение специального программного обеспечения для управления полетом. Такое увеличение чувствительности позволяет либо увеличить высоту сканирования (примерно $+1-2$ м), либо обеспечить большую площадь измерения при одном взлете того же летательного аппарата на той же высоте. Конечно, высота сканирования или скорость сканирования могут значительно возрасти, если активность искомого источника излучения высока. В наших экспериментах мы использовали природный урановый минерал (отенит), активность которого намного ниже, чем у искусственно полученных изотопов. В серии экспериментов мы нацелились на обнаружение нескольких источников излучения, что моделирует возможность картирования активных излучающих источников, рассеянных на месте возможной аварии. Основное преимущество разработанной и представленной нами системы, по отношению к системам измерения, применяемым на практике, заключается в том, что замер местности может быть проведен оперативно, при небольших затратах и без полевого риска для человека, осуществляющего замеры большой территории. Система преследует цель обнаружить присутствие источника излучения и локализовать его в такой степени, чтобы можно было с легкостью уточнить локализацию посредством мануальных или прочих наземных методов. Поскольку мы не стремились к сантиметровой точности позиционирования, для измерений было достаточно стандартной GPS-локализации. В ходе измерений географические координаты интерпретировались в системе GWS'84. Координаты круга широты и долготы показаны в этой системе на приведенных рисунках.

Методология

Для тестирования были выбраны два датчика детекторов гамма-излучения, монтируемых на дроны. Поскольку мы не стремились определить энергию частиц, удобным в обращении и легко приспособляемым к цифровым устройствам оказался цилиндрический счетчик Гейгера-Мюллера. Проведение тестирования этого детектора в ходе измерений излучения с помощью дрона было очевидным. Однако соответствующие эксперименты [1] [2] указали и на его недостатки, в первую очередь на относительно большую массу созданной системы. Современные сцинтилляционные детекторы на

базе полупроводников могли бы стать перспективной альтернативой для решения поставленной задачи. Они нашли применение во многих подобных проектах [3] [4] [5] [6]. Именно поэтому мы рассмотрели использование такого детектора в конкретной операции измерения. Исследования энергии обнаруженной частицы при использовании сцинтилляционного детектора не проводилось, поэтому детектор рассматривался только как счетчик частиц.

Счетчик Гейгера-Мюллера

Счетчик Гейгера-Мюллера представляет собой газоразрядную трубку, наполненную газом низкого давления, способную определять ионизирующее излучение. Как правило, специфическое излучение можно обнаружить через взаимодействие с материалом и покрытием трубки или посредством конструкции с окном. Во время работы устройство испускает электрические импульсы на каждый обнаруженный фотон. Вот почему детектор Гейгера-Мюллера часто называют счетчиком частиц. Хотя выходной сигнал трубки аналоговый, содержание информации выражается в импульсах на единицу времени (а не в амплитуде импульса!), поэтому счетчик можно относительно легко подключить к цифровым системам без использования аналого-цифрового преобразователя. Конструкция счетчика проста – металлическая трубка, заполненная газом низкого давления. По оси цилиндра проходит изолированный от него тонкий электрод. Для работы детектора на трубку (оболочку и центральный электрод) следует подать постоянное напряжение, соблюдая полярность. В зависимости от типа трубки напряжение составляет около 500-800 В. Каждый импульс фактически представляет собой электрический разряд внутри трубки. Во время разряда трубка не способна обнаружить новый фотон. Такое время называется мертвым. Мертвое время трубок Гейгера-Мюллера зависит от их типа, но обычно составляет порядка 10^{-5} сек. При измерении необходимо учитывать его влияние. Влияние мертвого времени незначительно при слабом излучении, однако с повышением интенсивности излучения вероятность необнаруженных фотонов возрастает. Теоретически пробивание детектора фотонами является случайным, именно поэтому в случае слабого излучения за мертвое время, генерированное только что обнаруженным фотоном, в детекторе могут быть поглощены один или несколько фотонов, однако они не вызывают нового разряда, т.е. электрического импульса. В трубке Гейгера-Мюллера электрический разряд инициируется ионизирующим излучением, но по разряду, т.е. на базе возникшего электрического импульса нельзя определить энергию обнаруженного фотона. Отсюда следует, что применение трубок Гейгера-Мюллера не позволяет сделать вывод о качестве излучения (энергии гамма-фотонов, а следовательно, вызывающего распад изотопа). В то же время трубка Гейгера-Мюллера — это очень простой и хорошо функционирующий детектор, который легко подключить к блокам обработки (например, к динамике, частотой щелчков демонстрирующему интенсивность излучения, или к счетчику, показывающему количество частиц, обнаруженных за единицу времени), что делает его весьма распространенным в качестве несложного детектора излучения.

Сцинтилляционный детектор

Некоторые кристаллы излучают свет при воздействии гамма-излучения. На самом деле излучение света не является непрерывным, а производит вспышку света, пропорциональную энергии гамма-фотона, поглощенного каждым кристаллом. Это явление мерцания. Если кристалл установить на очень чувствительный датчик света, а датчик изолировать от всех других источников света, то вспышки могут быть обнаружены в виде электрических импульсов. ФЭУ (фотоумножитель) является первым и в наши дни широко используемым светодатчиком. Типичный сцинтилляционный детектор состоит из двух основных элементов. один из них – это непосредственно сцинтилляционный кристалл, а другой - ФЭУ, оптически связанный с кристаллом. Большим преимуществом таких детекторов является то, что плотность кристалла значительно выше, чем у ионизационных детекторов, таким образом, чувствительное устройство может быть меньших размеров. К тому же сцинтилляционные детекторы генерируют сигнал, пропорциональный воспринятой энергии гамма-фотона, что позволяет определять дальнейшие характеристики исследуемого источника. Недостатком обычных сцинтилляционных детекторов является применение ФЭУ. Это относительно большой по конструкции высоковольтный аппарат, чувствительный к внешним электромагнитным шумам. Для замещения ФЭУ в современных устройствах появились полупроводниковые датчики. Один из таковых - МРРС (многопиксельный счетчик фотонов). Они имеют несколько преимуществ по сравнению с ФЭУ: могут работать на низком напряжении, потребляют мало энергии, менее чувствительны к электромагнитным полям и значительно меньше по размерам. Разумеется, при их использовании необходимо обеспечить стабилизированное питание и компенсацию тепла. В зависимости от степени излучения, количества энергии и интенсивности излучения применяют сцинтилляционные кристаллы из различных материалов. К наиболее распространенным относится легированный таллием (активированный) йодид натрия NaI (Tl). Наряду со многими полезными свойствами этот кристалл обладает весьма значительной способностью связывать воду, в чем его большой недостаток. Из-за связанной воды ухудшаются свойства кристалла (желтеет, становится непрозрачным), что в итоге приводит к значительному снижению эффективности детектора. Именно по этой причине во избежание повреждения в результате влажности воздуха кристаллы NaI (Tl) в детекторе должны быть герметически изолированы от внешней среды. Комбинация кристалла и светодатчика должна быть гармоничной. Необходимо учитывать длину световой волны, излучаемой сцинтилляционным кристаллом, и длину улавливающей волны светодатчика, например, CsI (Tl) (легированный таллием йодид цезия) [7] [8] [9] хорошо подходит для детекторов МРРС. Однако кристалл CsI мягкий, хрупкий и влагопоглощающий. Как правило, его снабжают внешним покрытием, снижающем, в первую очередь, уязвимость поверхности. Источником гамма-излучения в экспериментальной зоне послужили кусочки отенита $(Ca(UO_2)_2(PO_4)_2 \times (10 \sim 12)H_2O)$, размещенные на диске диаметром 30 см. Отенит представляет собой природный минерал группы урановых слюдок. Активность минералов, использованных в эксперименте, была

ниже нормы угрозы здоровью. Приобретение и хранение в небольших количествах этих минералов не подлежит лицензированию. На рис. 1 показан спектр гамма-излучения образца отенита. Спектр был записан сцинтилляционным детектором. Оценка записи проводилась с помощью бесплатно загружаемой программы «BecquerelMonitor» [10]. Во время записи спектра образец находился в непосредственной близости от детектора. По причине конструктивного исполнения детектора расстояние между сцинтилляционным кристаллом и образцом составляло 3 мм. Время записи 60 минут. На рисунке представлено увеличение интенсивности радиации по сравнению с зарегистрированным контрольным фоновым излучением. Детекторы Гейгера-Мюллера не подходят для измерения уровня энергии обнаруженных гамма-частиц, а только указывают на их присутствие. Однако на диаграмме видно, что образец отенита вызывает определенное увеличение числа гамма-частиц. Исходя из этого факта, в дальнейших экспериментах в качестве источника излучения мы использовали минерал отенит.

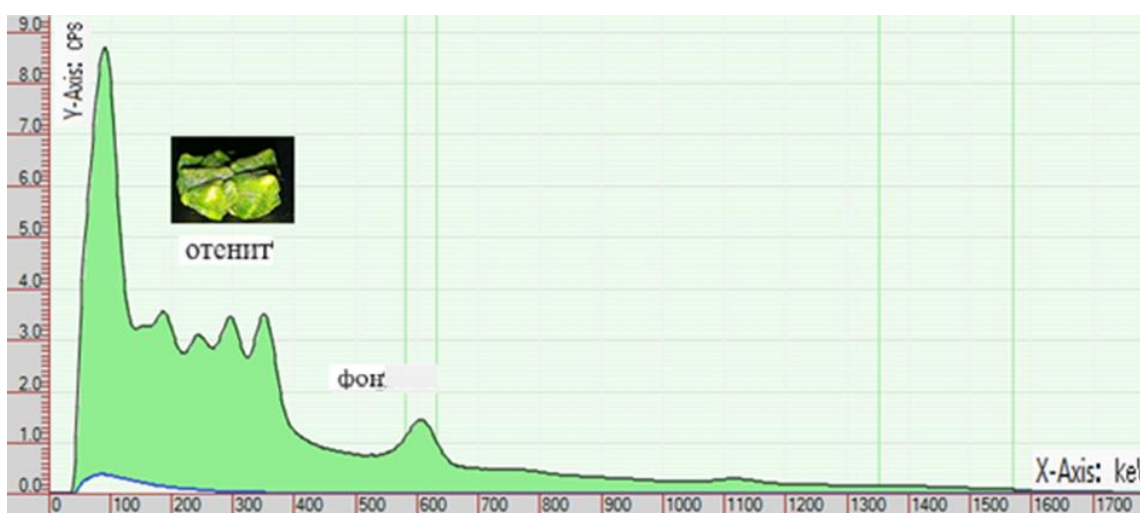


Рисунок 1. Спектр излучения одного из минералов отенита, использованного в экспериментах

Для эксперимента было необходимо определить расстояние измерения (высоту полета), на котором предполагается обнаружить источник излучения. При моделировании распространения излучения мы применяли простую геометрию (рис. 2) со следующими ограничениями:

- с расстояния измерения источник излучения считается точечным,
- ослаблением гамма-излучения в зависимости от пройденного в воздухе расстояния в диапазоне измерений можно пренебречь, т.е.

$$I = I_0 e^{-\mu r} \cong I_0 \quad (9)$$

где

I – излучение, рассчитанное на расстоянии r

I_0 – излучение, измеренное в контрольной точке

μ – коэффициент затухания среды

r – расстояние от источника излучения (точки отсчета)

– источник излучения с дистанции измерения является чисто гамма-излучателем

– излучение изотропно

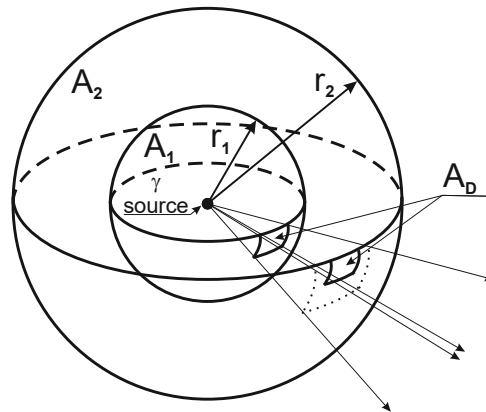


Рисунок 2. Моделирование зависящей от расстояния обнаруживаемости излучения

A_D – поверхность детектора; A_1 – поверхность сферы, определяющей единицу расстояния;

A_2 – поверхность сферы, определяющей расстояние обнаружения источника излучения;

r_1 – единица расстояния от источника излучения; r_2 – расстояние обнаружения от источника излучения

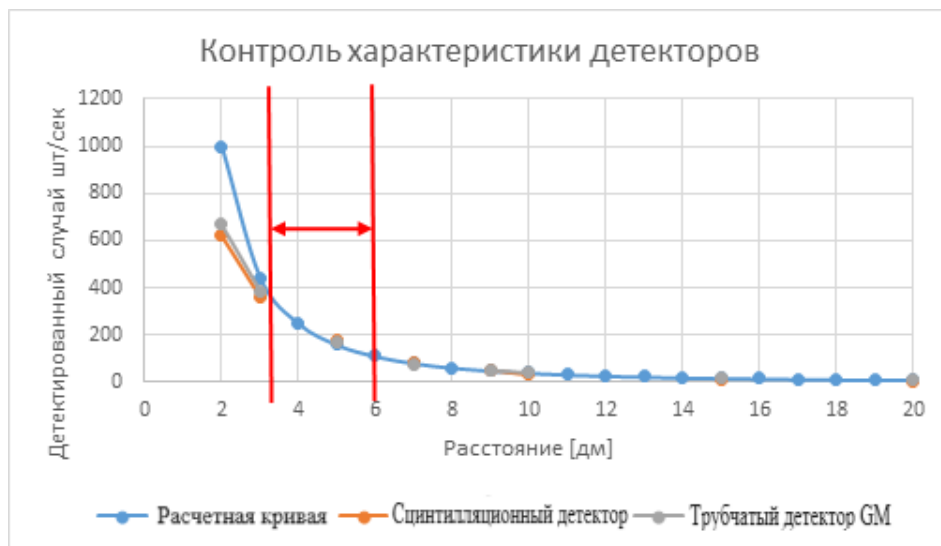


Рисунок 3. Определение эффективного расстояния для измерения

На рисунке 3 показаны результаты эксперимента, в ходе которого с разных дистанций проводились замеры на образцах в количестве, использованном в последующих экспериментах. Цель статического измерения состояла в том, чтобы

иметь возможность сравнить результаты измерения с теоретическими расчетами и определить минимальное и максимальное расстояние измерения. По рисунку видно, что измерения целесообразно проводить на высоте не более 6 метров от образца, так как при бóльшем расстоянии измерения сигнал источника уже при коротком времени измерения невозможно отделить от фонового излучения. Измерения на глубине ниже 3 метров дают констатируемые результаты, однако первоначальные ограничения больше не выполняются в полной мере. Поскольку использованный при тестировании источник излучения складывается из нескольких крошечных минералов, их комбинацию уже нельзя рассматривать вблизи как точечный источник, и результат измерения в итоге будет чреват крупными погрешностями, не позволяющими провести количественную оценку.

Генерирование и обработка данных измерений

Процедуру измерения можно разделить на два этапа. На первом этапе устройство в течение заданного времени зависает на запланированном маршруте в обозначенных точках измерения (образующих растровую сетку), а затем летит к следующей измеряемой точке. Запланированное время - 10 секунд. Таким образом, в соответствии с чувствительностью детектора мы можем регистрировать большой объем данных в каждой точке с постоянными координатами. Собранные в одной и той же точке многочисленные данные обеспечивают лучшее соотношение сигнала/шума (излучение образца/фоновое излучение), что увеличивает вероятность обнаружения искомого источника излучения. Если время полета дрона не позволяет провести замеры исследуемой местности, их можно выполнить с нескольких взлетов. На втором этапе измерения зарегистрированные во время полетов данные обрабатываются в автономном режиме с помощью разработанного нами программного обеспечения MATLAB и визуализируется результат.

На первом этапе обработки данных область измерения делим на одинаковые ячейки, как показано на рисунке 4:

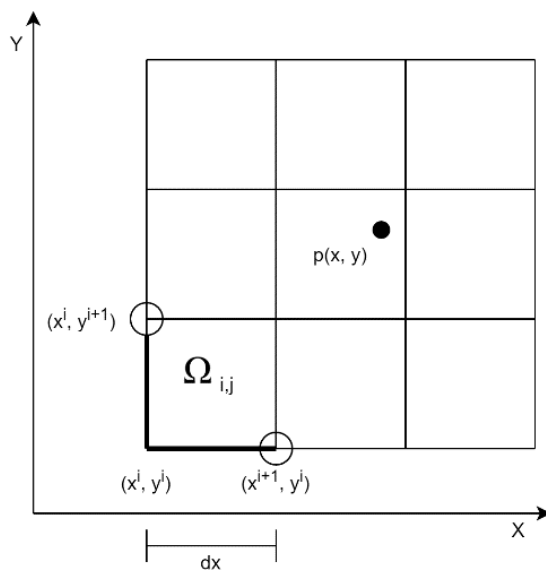


Рисунок 4. Деление территории на ячейки

Пусть ограничивающий прямоугольник будет до $\Omega_{i,j} \subset R^2$ $X_{min} - tól$
 $X_{max} - ig$ és $Y_{min} - tól$ $Y_{max} -$ где

$$X_{min} = \min_{p \in P} p_x \quad (1)$$

$$X_{max} = \max_{p \in P} p_x \quad (2)$$

$$Y_{min} = \min_{p \in P} p_y \quad (3)$$

$$Y_{max} = \max_{p \in P} p_y \quad (4)$$

где p есть GPS-координата точки измерения ($p_x, p_y \in R$), а P – включающее все точки множество. Ограничивающий прямоугольник в разбивке $n \times m$ формируем следующим образом:

$$\Omega_{ij} = \begin{cases} [x^i, x^{i+1}) \times [y^j, y^{j+1}) & \text{ha } i \in [0, n, \dots, n - 2] \text{ és } j \in [0, m, \dots, m - 2] \\ [x^i, x^{i+1}) \times [y^j, y^{j+1}) & \text{ha } i = n - 1 \text{ és } j \in [0, m, \dots, m - 2] \\ [x^i, x^{i+1}) \times [y^j, y^{j+1}) & \text{ha } i \in [0, n, \dots, n - 2] \text{ és } j = m - 1 \\ [x^i, x^{i+1}) \times [y^j, y^{j+1}) & \text{ha } i = n - 1 \text{ és } j = m - 1 \end{cases} \quad (5)$$

где,

$$x^i = x_{min} + i \cdot dx \quad (6)$$

$$y^i = y_{min} + i \cdot dy \quad (7)$$

На основании вышеизложенного определяем функцию $f(p)$, которая дает значение точки p . Значение, привязанное к (i, j) -ой матрице, можно определить с помощью следующего уравнения:

$$\bar{p}\Omega_{i,j} = \frac{\sum_{p \in \Omega_{i,j}} f(p)}{|\{p: p \in \Omega_{i,j}\}|} \quad (8)$$

Функция усреднения может быть заменена любой другой функцией, например, медианой. Таким образом, территорию измерения мы делим по заранее заданным параметрам. Все точки измерения будут принадлежать определенной ячейке. В

зависимости от настройки значение отдельной ячейки определяют средним, медианным или максимальным значением измеренного гамма-излучения.

4. Практический опыт

Для проверки метода на практике мы использовали два дрона с разными детекторными системами. Измерения проводились последовательно в одинаковых условиях, чтобы результаты были сопоставимы. При планировании эксперимента мы учитывали наш опыт измерения гамма-излучения в ходе непрерывных полетов [1][2].

Измерения детектором Гейгера-Мюллера, установленном на дроне JI Inspire JI Inspire Inspire – давний продукт компании DJI. Благодаря большому размеру и грузоподъемности дрон пригоден для перевозки больших грузов весом до 1000 граммов. Его надежная летная способность особенно выгодна для транспортировки детекторной системы Гейгера-Мюллера, устанавливаемой с целью измерения радиации. Сама детекторная система состоит из четырех высокочувствительных ГМ-трубок (LND 7808) [11], источников соответствующего питания напряжением, GPS-модуля и микрокомпьютера, записывающего данные измерений. Система разработана таким образом, чтобы разрозненные данные измерений каждого детектора и сводные данные измерений четырех детекторов архивировались периодически за единицу времени с интервалами в единице времени. Благодаря этому впоследствии можно проверить эффективность измерения дублирования детекторными трубками.

Время полета оснащенного детекторами дрона составляет 10-18 минут. Такой продолжительности полетного времени было недостаточно для обследования тестируемой зоны длиной 27 м и шириной 24 м. Территория была разбита на квадратную сетку с ячейками по 3х3 метра. В каждой из точек сетки беспилотник зависал на 10 секунд. Замеры были выполнены шестью взлетами. Во время посадок с целью минимизировать погрешности измеряемых точек непрерывно работал GPS-модуль детекторной системы. За время шести полетов территория сканировалась дважды, чтобы в конечном итоге точки измеряемой сетки оказались на расстоянии 1,5 метра друг от друга.

В процессе эксперимента было выполнено 1620 измерений почти в 162 измеряемых точках. Данные измерений иллюстрирует диаграмма на рисунке 5. На ней хорошо видно, что детекторы во время измерений зарегистрировали активность (0,015-0,017 мкЗв/ч), лишь незначительно отличающуюся от типичного фонового излучения в этом регионе (0,015-0,017 мкЗв/ч). Максимальная величина серой линии на диаграмме означает фазу полета, а минимальная - время нахождения на земле (замена батареи). Среди нижних линий диаграммы максимальное значение тонкой сплошной линии показывает генерируемые образцом пики, а максимальное значение пунктирной линии, скорее всего, показывает привязанные к образцу данные.

Поскольку эксперимент был спланирован таким образом, чтобы физическое расположение отдельной измеряемой точки и образца не имели связи по отношению друг к другу, измерение поверх образца не гарантировалось, однако частота расположения точек измерения предполагала наличие нескольких замеров, достаточно близких

к образцу, что уже обуславливает модификацию измеренного значения излучения. В результате присутствовали точки измерения, хорошо характеризующие влияние образца, но были и такие, которые немного отклонялись от фонового излучения, однако присовокуплялись образцу. Хотя диаграмма содержит названные точки измерения, их невозможно четко разделить без дополнительной информации.



Рисунок 5. Медианная фильтрация данных измерения радиации над площадью 650 м² и интерпретация каждого пика

Данные обнаруженного излучения, показанные на рисунке 5, были отфильтрованы с помощью 5-элементного медианного фильтра. Это связано с тем, что измерения проводились в дискретных точках. В каждой точке система фиксировала 10 измерений за 10 секунд. Медианный фильтр отфильтровывал всплески, зарегистрированные на время сугубо одного измерения. Из-за естественной природы излучения могут возникать короткие импульсы, но они не указывают на присутствие постоянно высокого уровня излучения. Предположительно, образец вместо кратковременных импульсов в течение многократно осуществленных измерений будет генерировать постоянно увеличенные значения.



Рисунок 6. Нефильтрованные данные излучения при экспериментальном измерении

На рисунке 6 собраны нефильтрованные данные измерения. По рисунку видно, что в нефильтрованном наборе данных сложно найти сигнал образца, к тому здесь присутствует и ряд ложных пиков.

С учетом того, что при каждом измерении излучения записывают также и координату измерения, эту дополнительную информацию можно использовать при анализе данных [12], [13], [14]. Тестируемая территория была разделена на участки размером $m \times m$. В ходе анализов значение « m » было равно 1; 2; было 3 и 4 метрам. Размеры такого деления адаптированы к расстоянию между дискретными точками измерения, определяемыми во время полетов. Данные об излучении были присвоены каждому участку, участки характеризовала медиана присвоенных им значений излучения.

Левое изображение на рисунке 7 иллюстрирует плоскостное распределение интенсивности гамма-излучения для вышеуказанных измерительных данных. Образец, помещенный в экспериментальную область, четко отделен от остальной территории. Примечателен значимый эффект образца на изображении. Эффект образца на диаграмме в значительной мере менее выражен.

Для проверки правильности географической координаты указанного при обработке источника излучения был выполнен контрольный замер. Во время контрольного измерения дрон с детектирующим аппаратом зависал над образцом таким образом, чтобы детектор находился на расстоянии 50 см от излучающего объекта. В результате мы получили значения, сильно отклоняющиеся от значений фонового излучения. В существенной мере более высокое значение, по сравнению с фоновым излучением, можно было измерить только по координате над образцом. Иных значений, приближенных к значению измеряемого излучения образца, на территории обнаружено не было, поэтому при обработке не возникало мешающих пиков. Записанные значения координат мы

оценивали статистическими методами, при этом были игнорированы показатели всплесков, а медиана оставшихся значений принята за статическую координату образца. Учитывая, что локализация должна в первую очередь способствовать облегчению первых шагов ручного поиска, ошибки измерения были в ожидаемых пределах.

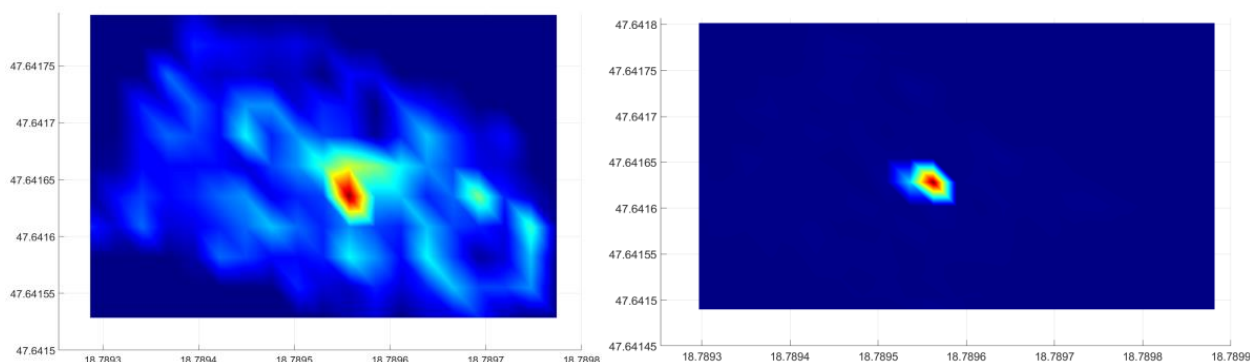


Рисунок 7. Распределение интенсивности гамма-излучения экспериментальной территории с участками обработки 3 x 3 м (слева) и контрольным тестом позиции измерения (справа)

Изображение справа на рисунке 7 иллюстрирует обработку данных контрольных измерений. Здесь можно заметить, что изображение демонстрирует исключительно местонахождение источника излучения. Стрелки на рисунке обозначают географические координаты источника излучения, которые соответствуют представленному на левом снимке рисунка 7 местоположению излучающего источника, фиксированного при обработке данных.

Измерения при помощи сцинтилляционного детектора, установленного на дроне Mavic DJI

Дроны Mavic от компании DJI — относительно новые разработки. Сам дрон значительно меньше, чем серия Inspire. По стабильности и точности полета он превосходят предыдущие модели. Из-за меньшего размера его легче транспортировать, хранить и эксплуатировать, чем его старые и более крупные аналоги. Тем не менее, компактная конструкция дрона несколько осложняет установку желаемых компонентов на устройство. Меньше и грузоподъемность, чем у дронов Inspire, поэтому монтаж уже собранной детекторной системы Гейгера-Мюллера на Mavic не представляется возможным. Однако на устройство можно разместить малогабаритные, легкие, полупроводниковые сенсорные датчики со сцинтилляционным кристаллом. Таким образом, на мультикоптер Mavic Pro были установлены небольшой сцинтилляционный детектор и обрабатывающий зафиксированные им данные одноплатник Raspberry PI. В экспериментах мы проверяли, насколько надежны данные сцинтилляционного детектора соответствующей чувствительности, записанные им при статических измерениях в полете. По своей структуре примененный детектор состоит из кристалла йодида цезия, легированного таллием CsJ (TI) размерами 13x13x47 мм и сенсора МРРС.

При излучении 0,01 мкЗв/ч (фоновое излучение, измеренное в экспериментальной зоне) детектор регистрирует в среднем 30 выбиваний электродов попаданий частиц.

Учитывая, что нашей целью было реализовать небольшую, удобную в транспортировке систему, одной из систем-носителей стал дрон DJI Mavic Pro. В связи с ограниченной грузоподъемностью дрона был определен аппаратный минимум для бортовой установки. Конечно, в случае локализации в RTK определение точек измерения обеспечило бы точность менее сантиметра, но мы не ставили перед собой такой задачи по точности в системе. Согласно концепции исследований и разработок точность измерений стандартным GPS (гражданского пользования) была для нас достаточной.

Поскольку дрон Mavic с установленной на нем детекторной системой способен летать 10-12 минут, измерение территории можно осуществить за два взлета. При первом полете мультикоптер произвел замеры в 36 точках измерения, при втором – в 45, по 10 секунд на каждую точку. Результаты измерения вместе с координатами точек измерения одноплатник Raspberry PI записал на SD-карту.



Рисунок 8. Диаграмма числа на секунду измерения излучения над территорией площадью 650m⁴

Хотя сцинтилляционный детектор пригоден для определения энергии обнаруженной гамма-частицы, в настоящем эксперименте это не учитывалось. Зарегистрированные данные содержат исключительно число детектированных гамма-частиц за единицу времени (рис. 8).

В данных измерений, показанных на рисунке 8, значительных всплесков не наблюдается. Основываясь на наборе данных, нельзя определить, был ли в зоне измерения источник излучения с интенсивностью, отклоняющейся от фонового излучения.

Однако по данным, отображенным на плоскости (рис. 9), источник излучения явствует. На рис. 9 показаны два источника излучения (кроме видимых на изображении шумов, поскольку интенсивность источника в местах измерений едва превышала интенсивность фонового излучения). Диаграмма на рисунке 8, демонстрирует также и точность GPS, зафиксированную во время измерения. Очевидно, что во второй трети времени измерения точность измерения ухудшилась (значение стало выше). Одновременно снизилось с десяти до девяти (это значение не показано) количество задействованных для измерения спутников. Кроме этого, из-за возросшей погрешности прецизионности измерения зафиксированные GPS-координаты продемонстрировали отклонение параметров, по сравнению с таковыми в фазе более точного измерения.

Таким образом, появление двух источников излучения на рис. 10 можно объяснить увеличением погрешности GPS при измерении. Расстояние между двумя точками источника излучения, отмеченными на рисунке черной стрелкой, составляет ~ 4 метра. Это расстояние соответствует погрешности позиции, обусловленной увеличением погрешности измерения.

Измерение двух источников излучения при помощи DJI Mavic

В ходе дальнейшего тестирования мы исследовали возможность обнаружения источников излучения, расположенных в тестовой зоне на расстоянии. Образцы находились в 25 метрах друг от друга и имели приблизительно одинаковый уровень активности. Эксперимент проходил на несколько большей территории, чем ранее, чтобы размещаемые образцы не попадали на края измеряемой площадки. Была обозначена экспериментальная зона размером 39 метров в длину и 24 метра в ширину, по сравнению с предыдущими параметрами (27 м x 24 м). Мы наметили 117 точек измерения в разбивке по 13 точек в 9-ти рядах. Над каждой точкой дрон зависал на 10 секунд. Замеры можно было выполнить за четыре взлета. Оценка результатов измерений осуществлялась по описанному выше. Необработанные данные видны на диаграммах на рисунке 10.

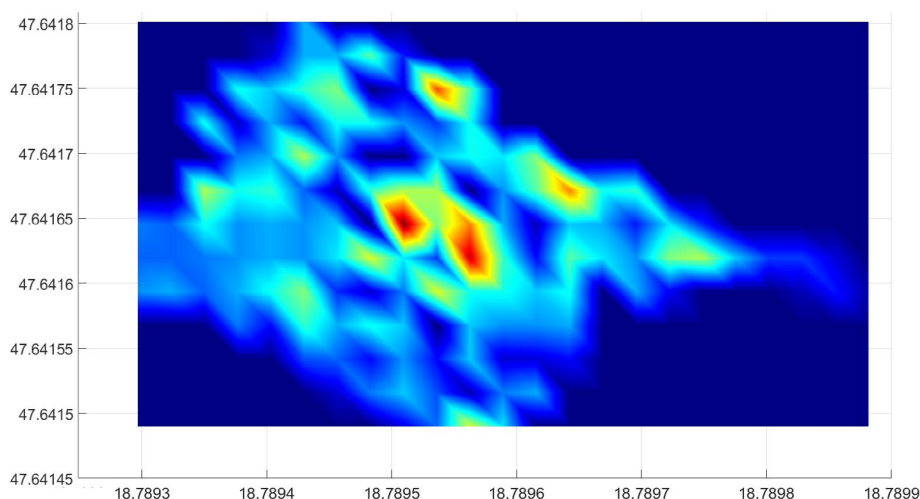


Рисунок 9. Распределение интенсивности гамма-излучения на экспериментальном участке с параметрами предыдущей обработки данных



Рисунок 10. Отображение необработанных данных измерения двух источников излучения

На рисунке 10 показано, что фоновое излучение обусловило значение CPS в диапазоне 20-40. Вблизи образца это значение в значительной мере увеличилось. Во время второго полета замечены 2 пика. Оба пика относятся к одному и тому же источнику. Два пика возникли потому, что в двух случаях устройство находилось на расстоянии обнаружения источника излучения в двух точках измерения. Во время третьего полета очерчивается относительно большой пик, образовавшийся при измерении вблизи второго источника излучения.

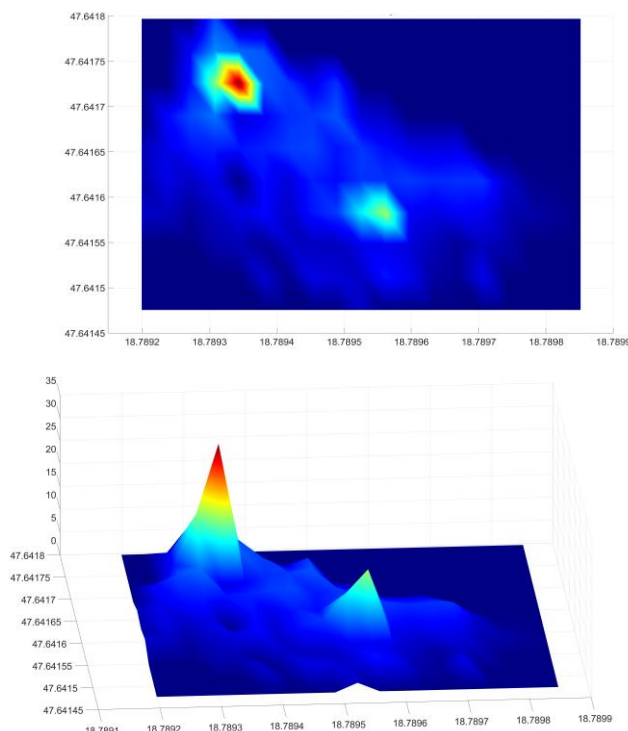


Рисунок 11. Визуальное отображение данных измерения двух источников излучения (слева – плоская проекция территориального распределения, справа – трехмерное изображение)

Результаты и Обсуждение

Результаты измерений показаны описанным методом на левом изображении рисунка 11 в виде карты территориального распределения точек. На изображении места расположения двух источников четко обособлены, их координаты соответствуют реальному положению. Таким образом, данный метод может быть надежно использован для обнаружения нескольких независимых источников излучения на исследуемой местности. В то же время следует отметить, что экспериментальная система не использует позиционирующее устройство RTK, поэтому минимальное обособление двух независимых источников излучения составляет 4-5 метров в зависимости от погрешности GPS, которая может возникнуть в процессе измерения (см. рисунок 9 и пояснение к нему).

Правое изображение на рисунке 11 – это репрезентация уже описанного трехмерного измерения двух источников излучения. Высота от поверхности пропорциональна измеренному гамма-излучению, точнее количеству случаев, зарегистрированных детектором (Count per Secopound, CPS). В ходе отображения для бóльшей ясности мы исключили случаи в диапазоне фонового излучения, так что пики на поверхности говорят о высоком излучении. Следовательно, по оси «Z» правого изображения на рисунке 11 можно определить значения CPS для означенной территории. Хотя цветовая гамма соизмерима со значением. CPS, она не подразумевает абсолютного значения. Для наилучшего визуального восприятия цветовая гамма на каждой диаграмме была подкорректирована.

Заключение

Для объективного сравнения детекторов в один и тот же день были проведены два сравнительных теста при неизменном положении образца и с одинаковыми параметрами измерения. Очевидно, что идентификация образца была достигнута в обоих случаях, однако по результатам измерения имелись качественные различия. При осуществлении замеров с дрона Mavic, оснащенного сцинтилляционным детектором, сигналы зашумлялись в бóльшей мере, чем ожидалось, что скорее всего обусловила мёньшая чувствительность системы детектора. Одна из причин заключается в том, что площадь поверхности детекторной системы счетчика Гейгера-Мюллера с 4 трубками больше, чем площадь сцинтилляционного кристалла объемом 8 см³. Хотя сцинтилляционный кристалл по причине более высокой плотности материала взаимодействует с бóльшим количеством гамма-частиц при том же объеме, что и трубки Гейгера-Мюллера, из-за его небольшого размера вероятность обнаружения излучения несколько ниже.

Что же касается аппарата-носителя, то дрон Mavic мог гораздо точнее настроиться на обозначенные точки измерения и удержать свое положение на протяжении всего процесса измерения. Портативность и малогабаритность дрона облегчают работу с ним, делают его компактнее громоздкого дрона Inspire.

Измерение в дискретных точках давало результат точнее, чем измерение в непрерывном полете, поскольку не требовалось корректировать координаты положения

в движении. Еще одним преимуществом измерения в дискретных точках является увеличение времени обнаружения, что позволяет строже отделять сигналы образца от фонового шума.

Исследование нескольких источников излучения убедительно показало, что с помощью изложенного метода измерения можно легко обнаружить и локализовать группы разбросанных по местности радиоактивных обломков или более крупные изолированные обломки

Список литературы

1. Molnár, András: Gammadózis teljesítmény-eloszlási térkép készítése kis méretű drón alkalmazásával, HADITECHNIKA 53 : 2 pp. 8-13. , 3 p. (2019)
2. András, Molnár; Daniel, Stojcsics; Zsolt, Domozi; István, Lovas: Gamma radiation distribution map creation using a small-sized drone In: IEEE 18th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2018) Budapest, Magyarország; pp. 161-166. , 6 p.
3. Parshin, A.; Morozov, V.; Snegirev, N.; Valkova, E.; Shikalenko, F. Advantages of Gamma-Radiometric and Spectrometric Low-Altitude Geophysical Surveys by Unmanned Aerial Systems with Small Scintillation Detectors. Appl. Sci. 2021, 11, 2247. <https://doi.org/10.3390/app1105224>
4. Mochizuki, S. et al.: First demonstration of aerial gamma-ray imaging using drone for prompt radiation survey in Fukushima (2017) Journal of Instrumentation, 12 (11), art. no. P11014
5. Aleotti, J. et al.: Detection of nuclear sources by UAV teleoperation using a visuo-haptic augmented reality interface (2017) Sensors (Switzerland), 17 (10), art. no. 2234
6. Hinterhofer, T., Pfennigbauer, M., Schraml, S., Hofstätter, M.: UAV based multi-sensor system with real-time data processing and downlink for survey of nuclear disaster locations for first-responder support (2017) AUVSI Xponential 2017
7. Šálek, O.; Matolín, M.; Gryc, L. Mapping of radiation anomalies using UAV mini-airborne gamma-ray spectrometry. J. Environ. Radioact. 2018, 182, 101–107.
8. Martin, P.; Connor, D.; Estrada, N.; El-Turke, A.; Megson-Smith, D.; Jones, C.; Kreamer, D.; Scott, T. Radiological Identification of Near-Surface Mineralogical Deposits Using Low-Altitude Unmanned Aerial Vehicle. Remote Sens. 2020, 12, 3562
9. BecqMoni2011 is an amateur freeware Japanese MCA software, <https://ln.sync.com/dl/cbafeba20/87sjrujv-r9tziicq-pz9ncmsy-nphcjsk5/view/default/1092926230010>
10. LND, Inc. Oceanside, New York, USA product datasheet: <https://www.lndinc.com/products/geiger-mueller-tubes/7808/>
11. Edorovsky, V.; Mazukabzov, A.; Sklyarov, E.; Gladkochub, D.; Donskaya, T.; Lavrenchuk, A.; Kotov, A. Aerospace Geological Map of the North-Eastern Part of zones Chernorud & Tomota; Geological Institute of RAS & Institute of Earth's Crust: Irkutsk, Russia, 2013.
12. Parshin, A.V.; Budyak, A.E.; Babyak, V.N. Interpretation of Integrated Aerial Geophysical Surveys by Unmanned Aerial Vehicles in Mining: A Case of Additional Flank Exploration. IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci. 2020, 459, 052079.
13. Parshin, A.; Budyak, A.; Chebokchinov, I.; Sapunov, V.; Bulnayev, A.; Morozov, V. Complex UAS-Geophysical Surveys at the First Stages of Geological Prospecting: Case in the Western Sayan (Russia). In

Proceedings of the First EAGE Workshop on Unmanned Aerial Vehicles, Toulouse, France, 2–4 December 2019; pp. 1–5.

А. Молнар

*Университет Обуда (Óbudai Egyetem),
H-1034, Bécsi út 96/b, г. Будапешт, Венгрия*

Дискретті өлшеу әдісімен дрон арқылы гамма-сәулелену дозасының таралуын өлшеу

Андатпа. Дрондарға орнатылған гамма-сәулелік детектордың көмегімен дозаларды бөлудің бірнеше карталары жасалды. Эксперименттерде алынған нәтижелер мен тәжірибелерге сүйене отырып, жүйенің кемшіліктері, сондай-ақ одан әрі даму мүмкіндігі анықталды. Әзірлеудің негізгі мақсаты неғұрлым ықшам, оңай тасымалданатын және орналастырылатын, бірақ алдыңғы жүйелерден айырмашылығы барынша сезімтал жүйені құру болды. Фондық сәулеленуге қарамастан (әдетте сынақ аймақтарында $0,01 \text{ } ^\circ \text{ с/сағ}$), осы уақытқа дейін жүргізілген эксперименттерде $+0,009 \text{ } ^\circ \text{ с/сағ}$ айырмашылық сенімді түрде анықталды. Осы қазіргі дамуда бұл мән сәтті төмендетілді $+0.005 - +0.007$ сезімталдықтың жақсаруына, ең алдымен, ұшуды басқарудың арнайы бағдарламалық жасақтамасының көмегімен жүзеге асырылатын бір нүктеге өлшеу уақытын ұлғайту арқылы қол жеткізілді. Бұл сезімталдықтың жоғарылауы сканерлеу биіктігінің жоғарылауына (шамамен $+1-2\text{м}$) немесе бірдей биіктікте бірдей ұшу құрылғысы болған жағдайда, бір ұшу кезінде үлкенірек зерттеу аймағын қамтуға мүмкіндік береді. Әрине, іздеу көзінің белсенділігі жоғары болса, сканерлеу биіктігі немесе сканерлеу жылдамдығы айтарлықтай артуы мүмкін. Тәжірибелерімізде біз белсенділігі жасанды түрде өндірілген изотоптардан әлдеқайда төмен табиғи уран минералын (Автонит) қолдандық. Осы эксперименттер сериясында біз сондай-ақ ықтимал апат болған жерге шашыраңқы белсенді көздерді картаға түсіру мүмкіндігін модельдейтін бірнеше көздерді анықтауды қарастырдық.

Біз әзірлеген және енгізген жүйенің тәжірибеде қолданылатын зерттеу процедураларынан басты артықшылығы-жұмылдыру оңай, үлкен аумақты операторға қауіп төндірмей, арзан бағамен далада зерттеуге болады. Жүйенің мақсаты-көздің бар-жоғын анықтау және оны кейіннен локализациялау арқылы немесе басқа жердегі процедуралармен оңай анықтауға болатындай дәрежеде оқшаулау. Біз сантиметрлік орналасу дәлдігіне ұмтылмайтындықтан, өлшеу үшін СТАНДАРТТЫ GPS локализациясы жеткілікті. Өлшеу кезінде географиялық координаттар WGS'84 жүйесінде түсіндіріледі. Ендік пен бойлық координаттарының шеңберлері де осы жүйеде ұсынылған суреттерде көрсетілген.

Түйін сөздер: Дрон, детектор, гамма-сәулелену, Гейгер-Мюллер есептегіші, сенсор, отенит

Andras Molnar
(University Of Obuda),
H-1034, Vienna Road 96 / b, Minnesotan. Budapest, Hungary

Measurement of gamma radiation dose distribution by drone using discrete measurement method

Abstract. Several dose distribution maps have been created using a drone-mounted gamma radiation detector. Based on the results and the experiences gained in the experiments, the shortcomings of the system as well as the possibility for further development have also emerged. The primary objective of the development was to create a more compact, easily portable, and deployable system, but one which, in contrast with the previous ones, is more sensitive. Despite background radiation (typically 0.01 μ Sv/h in the testing areas), a difference of +0.009 μ Sv/h has reliably been detected in the experiments made so far. In this present development, this value was successfully reduced to +0.005 - +0.007 μ S/h. The improvement in sensitivity was achieved primarily by increasing the measurement time per point, which was realized using special flight control software. This sensitivity increase either allows higher scanning altitude (approximately +1-2m) or, in case of an identical flight device at an identical altitude, a larger survey area with one take-off. Naturally, scanning height or scanning speed can increase significantly if the activity of the searched source is high. In our experiments, we used a natural uranium mineral (Autunit) with activity far below that of artificially produced isotopes. In this series of experiments, we also covered the identification of several sources, which models the possibility of mapping active sources scattered around the site of a possible accident.

The main advantage of the system developed and introduced by us over the survey procedures used in practice is that it is easy to mobilize, a large area can be surveyed at low cost without putting an operator at risk in the field. The purpose of the system is to detect the presence of the source and to localize it to such an extent that the localization can subsequently be easily specified by manual or other ground procedures. Since we do not strive for centimeter positioning accuracy, standard GPS localization is sufficient for measurements. During the measurements, the geographical coordinates are interpreted in accordance with the WGS'84 system. Additionally, the system displays the circles of latitude and longitude coordinates in the figures presented.

Keywords: Drone, detector, gamma radiation, Geiger-Muller counter, sensor, otenit

References

1. Molnár, András: Gammadózisteljesítmény-eloszlási térkép készítése kis méretű drón alkalmazásával, HADITECHNIKA 53: 2 pp. 8-13. , 3 p. (2019)
2. András, Molnár; Daniel, Stojcsics; Zsolt, Domozi; István, Lovas: Gamma radiation distribution map creation using a small-sized drone In: IEEE 18th International Symposium on Computational Intelligence and Informatics (CINTI 2018) Budapest, Magyarország., pp. 161-166. , 6 p.
3. Parshin, A.; Morozov, V.; Snegirev, N.; Valkova, E.; Shikalenko, F. Advantages of Gamma-Radiometric and Spectrometric Low-Altitude Geophysical Surveys by Unmanned Aerial Systems with Small Scintillation Detectors. Appl. Sci. 2021, 11, 2247. <https://doi.org/10.3390/app1105224>
4. Mochizuki, S. et al.: First demonstration of aerial gamma-ray imaging using drone for prompt radiation survey in Fukushima (2017) Journal of Instrumentation, 12 (11), art. no. P11014

5. Aleotti, J. et al.: Detection of nuclear sources by UAV teleoperation using a visuo-haptic augmented reality interface (2017) *Sensors* (Switzerland), 17 (10), art. no. 2234
6. Hinterhofer, T, Pfennigbauer, M., Schraml, S., Hofstätter, M.: UAVbased multi-sensor system with real-time data processing and downlink for survey of nuclear disaster locations for first-responder support (2017) *AUVSI Xponential 2017*
7. Šálek, O.; Matolín, M.; Gryc, L. Mapping of radiation anomalies using UAV mini-airborne gamma-ray spectrometry. *J. Environ. Radioact.* 2018, 182, 101–107.
8. Martin, P.; Connor, D.; Estrada, N.; El-Turke, A.; Megson-Smith, D.; Jones, C.; Kreamer, D.; Scott, T. Radiological Identification of Near-Surface Mineralogical Deposits Using Low-Altitude Unmanned Aerial Vehicle. *Remote Sens.* 2020, 12, 3562
9. BecqMoni2011 is an amateur freeware Japanese MCA software, <https://ln.sync.com/dl/cbafeba20/87sjrujv-r9tziicq-pz9ncmsy-nphcjsk5/view/default/1092926230010>
10. LND, Inc. Oceanside, New York, USA product datasheet: <https://www.lndinc.com/products/geiger-mueller-tubes/7808/>
11. Egorovskiy, V.; Mazukabzov, A.; Sklyarov, E.; Gladkochub, D.; Donskaya, T.; Lavrenchuk, A.; Kotov, A. *Aerospace Geological Map of the North-Eastern Part of zones Chernorud & Tomota; Geological Institute of RAS & Institute of Earth's Crust: Irkutsk, Russia, 2013.*
12. Parshin, A.V.; Budyak, A.E.; Babyak, V.N. Interpretation of Integrated Aerial Geophysical Surveys by Unmanned Aerial Vehicles in Mining: A Case of Additional Flank Exploration. *IOP Conf. Ser. Earth Environ. Sci.* 2020, 459, 052079.
13. Parshin, A.; Budyak, A.; Chebokchinov, I.; Sapunov, V.; Bulnayev, A.; Morozov, V. Complex UAS-Geophysical Surveys at the First Stages of Geological Prospecting: Case in the Western Sayan (Russia). In *Proceedings of the First EAGE Workshop on Unmanned Aerial Vehicles, Toulouse, France, 2–4 December 2019*; pp. 1–5.

Сведения об авторах:

Андраш Молнар – автор для корреспонденции, профессор Обуда университета Н-1034, Vienna Road 96 / b, Minnesotan. Будапешт, Венгрия.

Андраш Молнар – хат-хабар авторы, Н-1034 университетінің Обуд профессоры, Vienna Road 96 / b, Миннесотан. Будапешт, Венгрия

Andras Molnar – corresponding author, Professor University of Obuda, H-1034, Vienna Road 96 / b, Minnesotan. Budapest, Hungary



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 28.23.13

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-188-202>

Article

Linear constraints on variables in influence diagrams for causal models

A. Shayakhmetova^{1*}, A. Akhmetova¹, A. Abdildayeva¹, B.N. Litvinenko¹,
A. Zakirova²

¹Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

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

(E-mail: asemshayakhmetova@mail.ru)

Abstract. The paper considers some ways of representing probabilistic causal models using Bayesian network theory (hereafter referred to as BN). These models describe well problems with different types of uncertainty. The theory of BN extended with some additional types of nodes called influence diagrams or IDs. Influence diagrams make it possible to consider a number of solution options, to evaluate them quantitatively, and to select the best of the considered options. However, it is practically impossible to find an optimal solution in an ID. It is not even possible to create a system of linear constraints on some variables in an ID, although there is a large class of practical problems with such constraints.

The paper describes the idea of extending ID to describe linear constraints on some variables of the BN. In the future, it will help to use the ideas of linear programming in ID to find an optimal solution in the sense of LP for problems with different types of uncertainties and causal relationships between some variables. This work has been done under grant AP19679142 "Search for optimal solutions in Bayesian networks in models with linear constraints and linear functionals. Development of algorithms and programs " (2023-2025) of MES RK. This project will develop the theory for finding optimal solutions in Bayesian networks. Optimality will be understood in the sense of linear programming - a system of linear constraints, extremum of a linear functional. The theory will be implemented in a software product.

Keywords: Bayesian network, directed acyclic graph, graphical model, evidence, evidence propagation, conditional probability table, influence diagrams

Received 27.01.2024 Revised 19.03.2024 Accepted 23.06.2024 Available online 30.06.2024

* the corresponding author

Introduction

Graphical models, in particular Bayesian networks and influence diagrams, can be used to solve a variety of fairly complex problems with different types of uncertainty. The basics of Bayesian networks can be found in [1, 2, 3, 4]. Such problems often involve causal relationships between different elements. These graphical models are usually based on directed acyclic graphs. The nodes in a BN are variables that are probabilistic in nature. There are different causal relationships between the variables. Calculations in BN allow us to calculate the values of some variables based on known variables, causal relationships between variables, evidence in some variables. Calculations in Bayesian networks are quite extensive. If there are 8-10 nodes in the network, manual calculations are already extremely difficult. The presence of evidence in some nodes makes calculations even more difficult. Fortunately, the theory of Bayesian network computation is well developed and implemented in many software products. In this paper we will refer to the well-known software product HUGIN EXPERT [5].

Bayesian networks are currently the subject of intense research. Interesting ideas can be seen in works [6 - 11]. Gradually, however, the capabilities of BNs became insufficient for solving many practical problems. New types of nodes were added to BNs. This made it possible to solve new classes of problems, in particular to search for and analyse solutions in problems with different causal relations and containing different types of uncertainties. It became possible to quantitatively evaluate different solutions to a problem and to select the best solution according to certain characteristics. These networks are called influence diagrams.

Then it was necessary to create various additional constraints on individual variables. Unfortunately, IDs cannot perform such operations efficiently. It is even more difficult to perform computations in constrained networks than to perform computations in conventional IDs. The issues of extending the capabilities of IDs for creating additional constraints and finding solutions to such problems are discussed in this paper.

First, the paper will construct examples to illustrate the current methods for finding the best solutions in ID. Such solutions are, of course, not generally optimal. However, in some cases the solutions may coincide with the optimal ones. In the future, the examples that are considered will be supplemented with linear constraints on some of the variables. Of course, IDs do not have mechanisms to solve such problems. However, the simplest problems can be solved artificially. As a consequence, neither the HUGIN EXPERT software package, nor any other software package that implements the ideas of IDs, allows the use of linear constraints in the problems, as well as more complex constraints.

The examples are for educational purposes only. Any questions about the suitability of the graphical model for a considered task are incorrect. The HUGIN EXPERT software is used to create the training examples.

The methodology

A tutorial example from the BN literature will be considered here. In this example, several options for solving the given influence diagram are identified and then quantitatively evaluated.

The best of the considered options is selected. However, it should be noted that the best of the considered options may not necessarily be the optimal solution for a number of reasons. For example, we may not be sure that we have considered all the options. Another reason could be that the mechanisms of influence diagrams do not adequately build the desired model. In the following, this example will be adapted in such a way that the capabilities of influence diagrams are not sufficient to build even the necessary set of solution options.

The methods used in this paper are Bayesian networks and their evolution - influence diagrams. BNs allow the user to construct a set of solutions, compare these solutions by some criterion, and select the best solution from among them. It should be noted, the chosen solution will not be optimal. In real-world problems, it is usually necessary to find a solution that is optimal in some sense. The simplest problems are linear programming problems. On the one hand, we have a set of variables that are related to each other by probabilistic relationships. On the other hand, a number of linear constraints on some of the variables form a set in which it is necessary to find the optimum of some linear functional. The paper considers the necessity of introducing the system of linear constraints on a set of variables into the method of influence diagrams.

Let us consider a well-known example from the literature on BN. The leaves of an apple tree have fallen off. The cause of the leaf drop may be either tree disease or drought, or both. The owner must decide whether to treat the tree or not. Treatment offers the hope of a certain crop next year and some profit. However, treatment is quite expensive and if treated, the risks must be assessed:

- The tree is healthy and the cause is simply insufficient watering. The money for treatment is wasted.
- The tree is sick. Treatment has helped. Next year's crop will be good and will justify the cost of treatment.
- The tree is sick. The treatment has not worked. Next year's crop will be poor and the cost of the treatment has not been justified.

Figure 1 shows the influence diagram for this problem. Let us describe the variables and functions in this influence diagram.

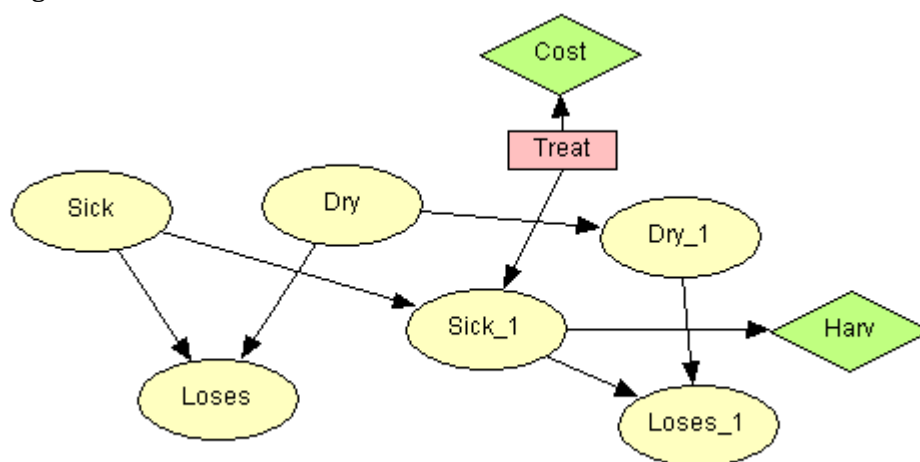


Figure 1. Influence diagram for finding a treatment strategy for an apple tree

The apple tree is observed for two years. In the first year, leaves are likely to fall (Loses) for two reasons: the tree is sick (Sick) or the tree is withered (Dry), poorly watered. Of course, leaves may fall for a combination of these reasons. In the second year we expect a causal relationship both from the old Sick node to the new Sick₁ node and from the old Dry node to the new Dry₁ node. This is because, for example, if we expect a tree to be sick now, it is likely to be sick in the future.

By observing the tree, the owner can treat the tree to get rid of a possible disease. If he thinks the leaf loss is due to drought, he can save his money and just wait for rain. Treating can help the tree with some probability. Treatment is quite expensive and the benefits of treatment need to be assessed. Will the crop justify the cost of treating the apple tree? The tree treatment action is now added as a decision node in the BN (Treat). This node is no longer a BN node. The Bayesian Network becomes an Influence Diagram.

In the second year, the apple tree may be leafless for the same reasons (Disease₁ and Drought₁). But the disease in the second year will depend on two reasons: whether it was sick in the previous year (Sick) and whether it was treated (Treat). See Figure 1.

The decision node Treat has the states "treat" and "not". We have added a link from Treat to Sick₁. This is because we expect the treatment to affect the future health of the tree. We now need to specify a usefulness function that allows us to calculate the expected usefulness of the solution. This is done by adding auxiliary nodes to the diagram, each contributing to the overall utility. The Cost usefulness node reflects information about the cost of processing, while the Harv node represents the usefulness at harvest time. Here the usefulness depends on the health of the apple tree. To get a quantitative representation, we need to construct Conditional Probability Tables (CPTs) for all the nodes in this influence diagram.

Table 1 and Table 2 show the marginal probabilities of the variables sick and dry. Table 3 shows the probability dependence of the variable Loses on the variables Sick and Dry.

Table 1. Marginal probabilities of Sick

	Probability
sick	0.1
not	0.9

Table 2. Marginal probabilities of SickDry

	Probability
dry	0.1
not	0.9

Table 3. Dependence of Loses on Sick and Dry

Loses					
		sick		not	
Sick	Dry	dry	not	dry	not
yes		0.95	0.85	0.85	0.02
no		0.05	0.15	0.15	0.98

Table 4 shows the dependence of the variable Sick_1 on the variables Sick and Treat. Disease in the second year depends on the treatment performed and whether the tree was diseased in the first year. Table 5 shows the dependence of the variable Dry_1 on the variable Dry. Table 6 shows the dependence of the variable Loses_1 on the variables Sick_1 and Dry_1

Table 4. Dependence of Sick_1 on Sick and Treat

Sick_1					
		treat		not	
Treat	Sick	sick	not	sick	not
sick		0.2	0.01	0.99	0.02
not		0.8	0.99	0.01	0.98

Table 5. Dependence of Dry_1 on the variable Dry

Dry_1		
Dry	dry	not
dry	0.6	0.05
not	0.4	0.95

Table 6. Dependence of Loses_1 on variables Sick_1 and Dry_1

		dry		not	
Dry_1					
Sick_1		sick	not	sick	not
yes		0.95	0.85	0.9	0.02
no		0.05	0.15	0.1	0.98

Table 7. Willingness to pay for tree treatment

treat	0
not	1

Table 7 describes the owner's marginal willingness to pay for treatment of the tree. Table 8 shows that it would cost \$8,000 to treat an apple tree. Table 9 shows the profit from a sick and healthy tree.

Table 8. Treating an apple tree will cost \$8,000 dollars

		treat	not
Treat		treat	not
Utility		-8000	0

Table 9. Willingness to pay for tree treatment

		sick	not
Sick_1		sick	not
Utility		3000	20000

Let's evaluate several strategies for the behaviour of the apple tree owner.

1. Strategy 1: The owner does not spend money on treating the apple tree, believing that the cause of the leaf fall is drought. The solution is shown in Figure 2.

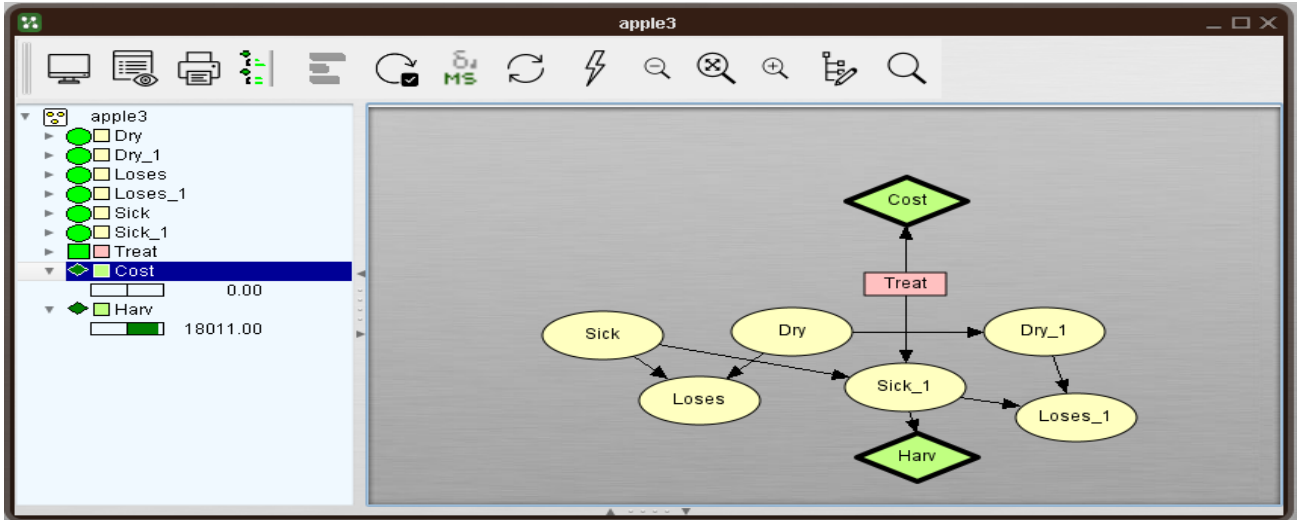


Figure 2. The owner does not spend money on treatment

The expected profit in this case is 18011 dollars.

2. Strategy 2. The owner spends no money on treating the apple tree, believing that the leaves are falling because of the drought. But it turns out that the tree is sick. The solution is shown in Figure 3.

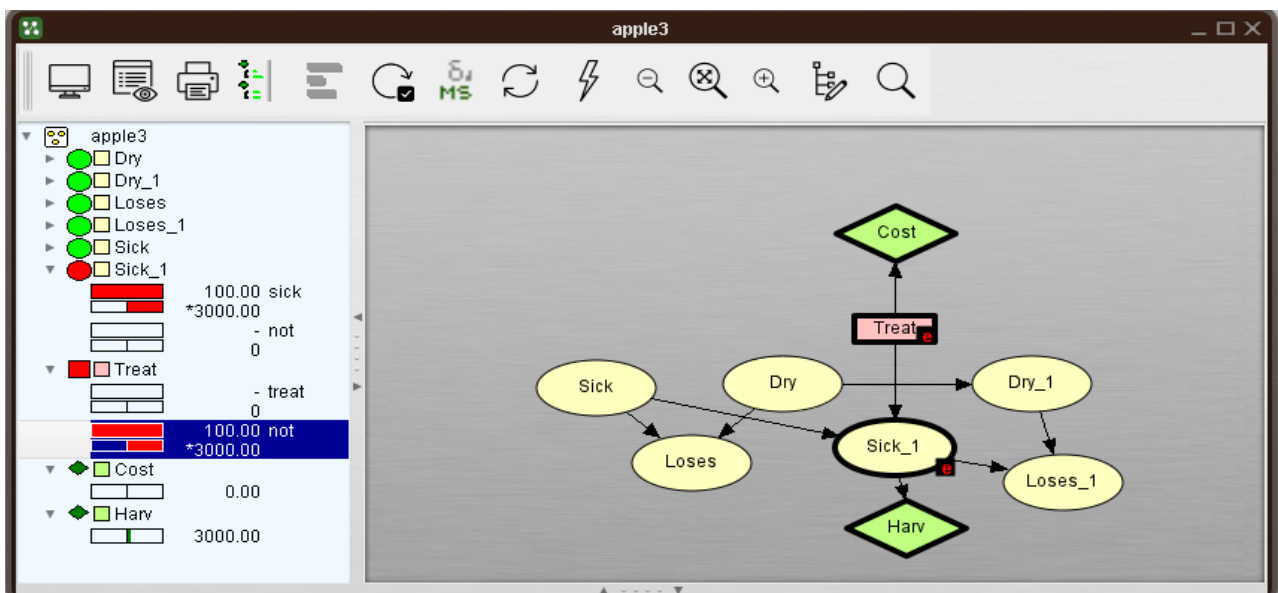


Figure 3. The owner does not spend money on treatment, but the apple tree is sick

The expected profit in this case is \$3,000. A sick tree will yield little profit.

3. Strategy 3. The owner treats the apple tree, and the tree is sick.

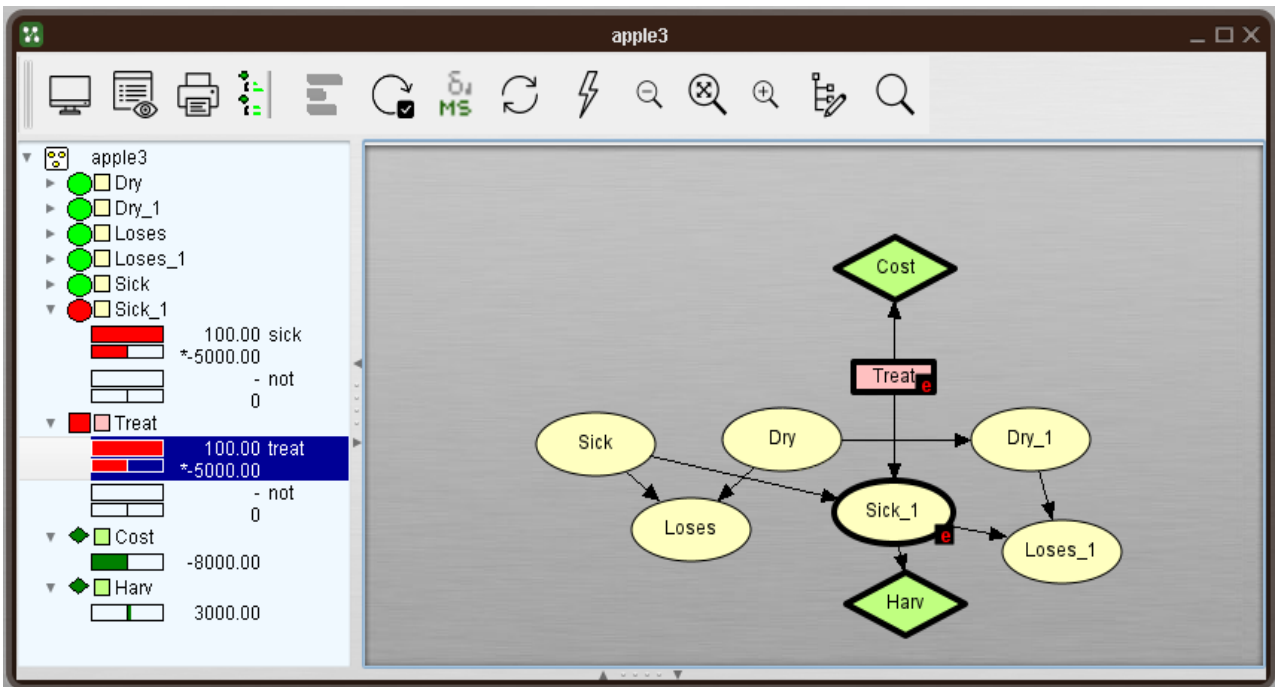


Figure 4. The owner treats the apple tree, but the tree is not cured

The expected profit in this case is -5000 dollars. The diseased tree will yield little profit (\$3000), and \$8000 was spent on treatment. The solution is shown in Figure 4.

4. Strategy 4. The owner treats an apple tree, the tree was sick, but was cured. The expected profit is \$12000 (20000 from the sale - 8000 for the cure). The solution is shown in Figure 5.

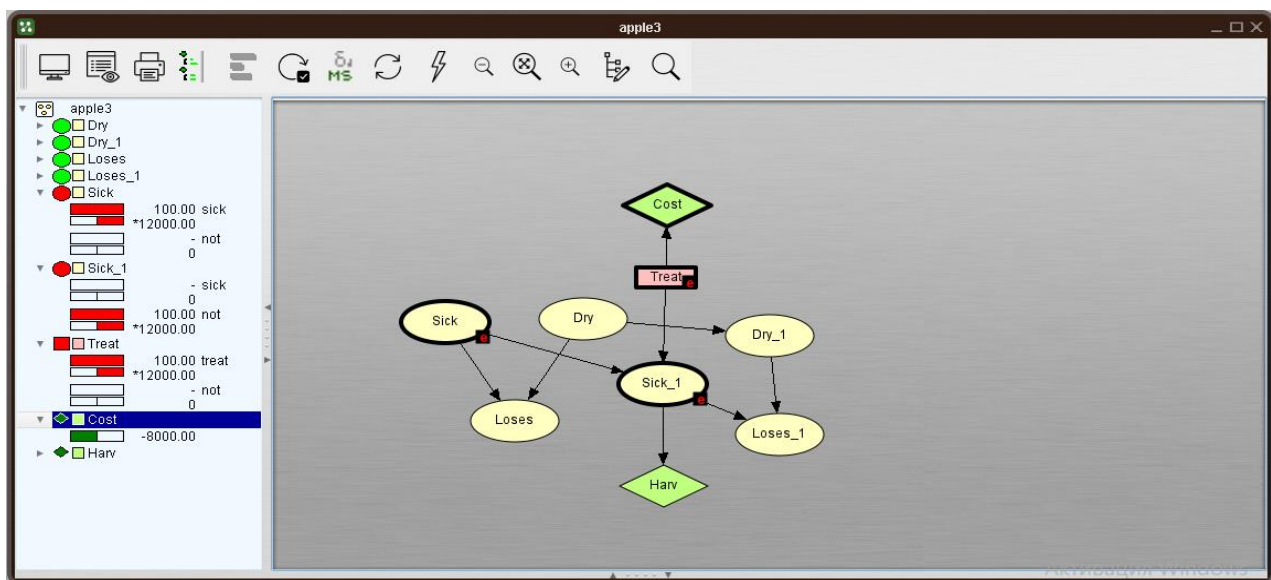


Figure 5. An owner treats a sick apple tree, the tree has been cured

The examples that have been considered show quite clearly the scope of influence diagrams in solving practical problems. However, many questions arise about the scope of influence diagrams. Let us consider just a few of these questions.

Is it possible to specify the cost function for tree treatment in detail? Within reasonable limits it is. For example, there are several ways to treat a tree, with different costs and different treatment efficiencies. For example:

- o Do not treat the tree, no treatment cost.
- o Spend at least \$3000 with a probability of curing the tree of about 0.6.
- o Spend \$5000 with a probability of curing the tree of about 0.8.
- o Spend \$8000 with a probability of curing the tree greater than 0.9.

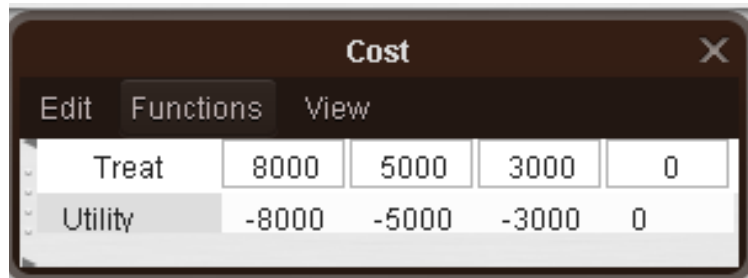
The Treat node and its associated Cost and Sick_1 nodes will change. The conditional probability tables (10, 11, 12) for these changes are given below.

Table 10. Willingness to pay for tree treatment



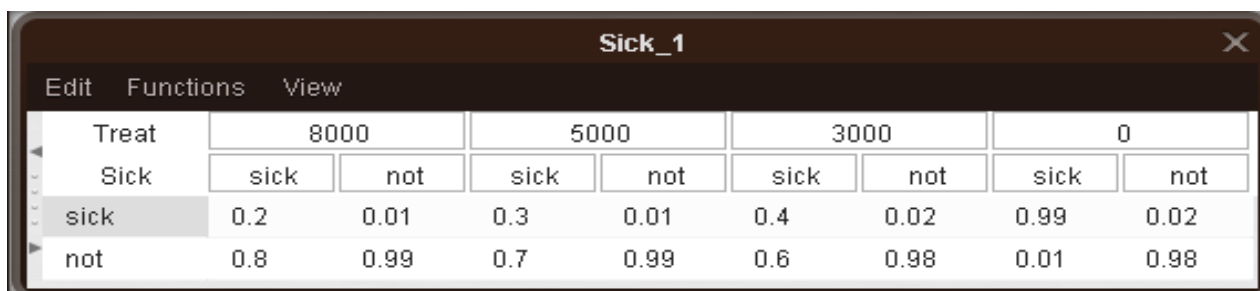
	Cost	Sick_1
8000	0	
5000	0	
3000	1	
0	0	

Table 11. Cost of treatment of apple tree



	8000	5000	3000	0
Treat	8000	5000	3000	0
Utility	-8000	-5000	-3000	0

Table 12. Probabilities of apple tree recovery



	8000		5000		3000		0	
	sick	not	sick	not	sick	not	sick	not
sick	0.2	0.01	0.3	0.01	0.4	0.02	0.99	0.02
not	0.8	0.99	0.7	0.99	0.6	0.98	0.01	0.98

The user only selects the best option from the options considered. There is no certainty that the most interesting options will be omitted. It would be nice to have a mechanism to point the user to more interesting options. Unfortunately, IDs do not have such capabilities.

In practical problems, there are often linear constraints on some (not all) variables in a ID. For example, a owner may have several trees that are specific and require different costs. However, resources are finite. The natural question of the most efficient allocation of resources cannot be solved by a ID. In the simplest cases, such problems can be solved using artificial methods. However, there is no general approach to solving such problems in IDs. Figure 6 shows an example of such a problem.

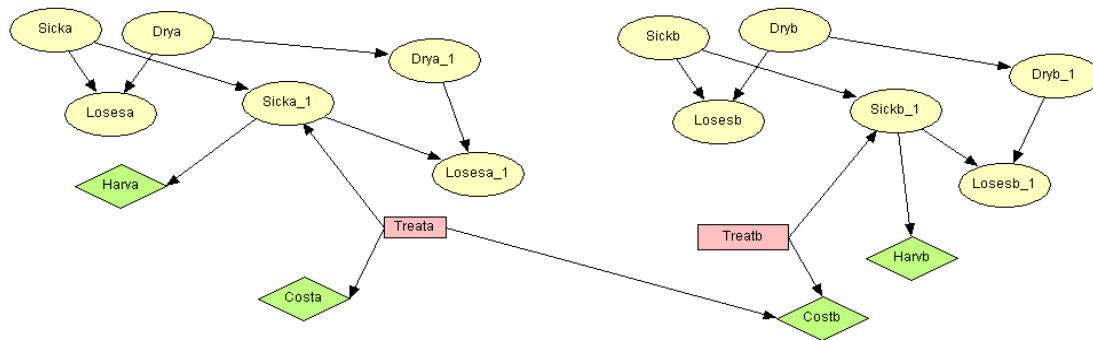


Figure 6. Example with two diseased trees

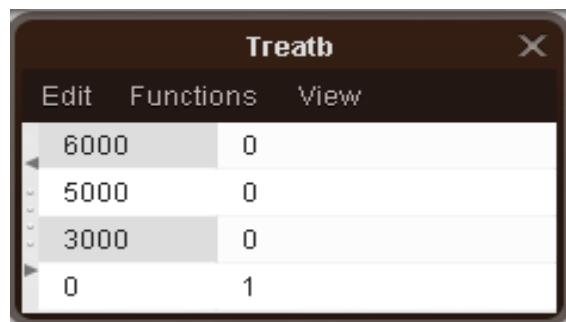
The owner has two diseased trees: an apple and a pear. The owner can start treating these trees. However, there is no money to fully treat both trees - only \$8000 is available. You can either refuse to treat the trees or choose one of three treatment modes for each tree. Each treatment mode costs a certain amount of money. The less a treatment costs, the less likely it is that the tree will be cured. Figure 6 shows a Bayesian network with two diseased trees. We leave the basic probabilistic constraints for this example the same as in the example discussed earlier. Only new relationships between the variables are given below.

Table 13. Treatment options for apple trees

Treata	
Edit	Functions View
7000	0
5000	0
3000	0
0	1

Table 13 summarizes the treatment options for apple trees. Table 14 shows the treatment options for pear tree. Table 15 shows the cost of treating the apple tree depending on the treatment option. Table 16 shows the cost of treating the pear tree depending on the treatment option and the funds already spent on treating the apple tree. Since the treatment funds are only \$8000, the excess over this amount is represented by an arbitrary, rather large number. In our case, the loss is \$99,9999. Figure 7 shows the solution to this problem if the tree owner refuses any treatment, hoping that the leaves will fall only from lack of irrigation. The expected gain is $18011 + 10080 = 28091$ dollars.

Table 14. Pear tree treatment options



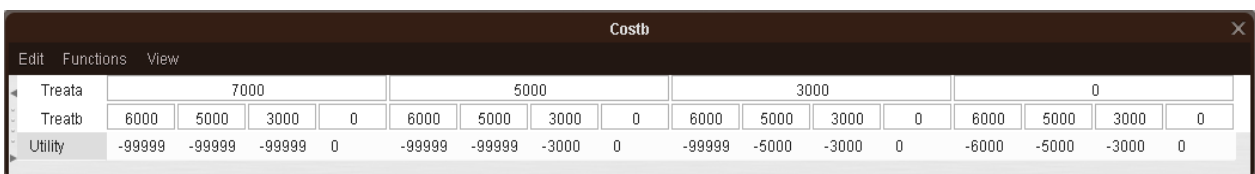
Cost	Value
6000	0
5000	0
3000	0
0	1

Table 15. Cost of treatment of an apple tree



	7000	5000	3000	0
Treata	7000	5000	3000	0
Utility	-7000	-5000	-3000	0

Table 16. Cost of treatment of pear tree



	7000	5000	3000	0
Treata	7000	5000	3000	0
Treatb	6000	5000	3000	0
Utility	-99999	-99999	-99999	0

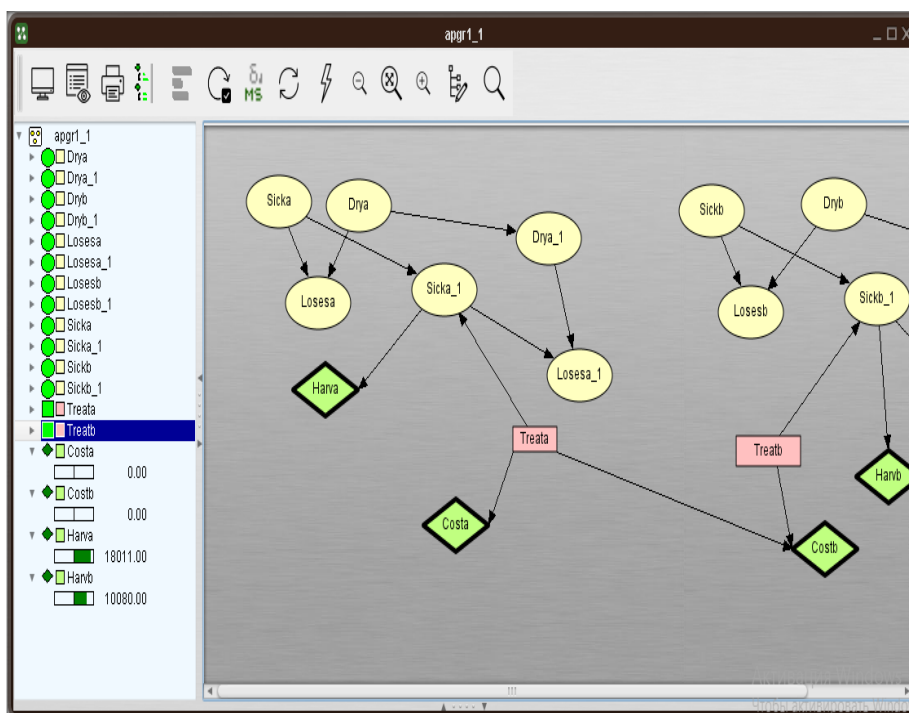


Figure 7. Variant of solving the problem with two diseased trees

Findings/Discussion

Two examples of the use of IDs are considered in this paper. These examples illustrate the range of problems that can be solved by IDs methods. The second example considers the simplest variant of a linear constraint on two variables. An artificial way of solving this problem using IDs is considered. It is concluded that it is impossible to use the IDs mechanism to solve problems with linear constraints on some variables.

Conclusion

The development of ideas of constructing linear constraints for some variables of influence diagrams is the first step towards solving practical problems of finding the optimal solution of linear programming problems in the presence of various types of uncertainties. It is also assumed that some variables may have probabilistic relationships among themselves.

Acknowledgement, conflict of interests

The paper considers the possibilities of using the mechanism of ID to solve problems where some variables are bound by linear constraints. These problems will be solved within the grant project AP19679142 "Search for optimal solutions in Bayesian networks in models with linear constraints and linear functionals. Development of algorithms and programs" (2023-2025) of MES RK.

Author's contribution

A. Shayakhmetova, A. Akhmetova – general guidance, problem setting, solving theoretical issues, calculations, conclusion.

A. Abdildayeva, N. Litvinenko, A. Zakirova – formula checking, calculation checking, article design, typing.

References

1. Pearl J. Probabilistic Reasoning in Intelligent Systems. San Francisco: Morgan Kaufmann Publishers, 1988. 552 p
2. Robert G. Cowell, A. Philip Dawid, Steffen L. Lauritzen, David J. Spiegelhalter. Probabilistic Networks and Expert Systems. ISBN 0-387-98767-3. Springer, 1999. 321 p.
3. Litvinenko N.G., Litvinenko A.G., Mamyrbayev O.Zh., Shayakhmetova A.S. Working with Bayesian networks in BAYESIALAB. ISBN 978-601-332-206-3. Almaty, Institute of Information and Computational Technologies, 2018. 313 p. (Rus)
4. Litvinenko N.G., Litvinenko A.G., Mamyrbayev O.Zh., Shayakhmetova A.S. Bayesian networks. Theory and practice. ISBN 978-601-332-888-1. Almaty, Institute of Information and Computational Technologies, 2020. 197 p. (Rus)
5. HUGIN Graphical User Interface. Documentation. Release 9.1. Dec 17, 2021.
6. Mamyrbayev O., Litvinenko N., Shayakhmetova A. Evidences propagations in Bayesian networks // News of the National academy of sciences of the Republic of Kazakhstan. Series physico-mathematical, 2020. - № 4 (332). – P. 119 – 126. (Clarivate Analytics).
7. Steffen L. Lauritzen, Dennis Nilsson, LIMIDS of Decision Problems, Aalborg University, December 20, 1999, P. 42.
8. Kevin P. Murphy, Machine Learning: A Probabilistic Perspective, The MIT Press Cambridge, Massachusetts London, England, ISBN 978-0-262-01802-9 (hardcover : alk. paper). P. 1098. 2012.
9. Chickering D., Heckerman D. Efficient approximations for the marginal likelihood of incomplete data given a Bayesian network. Machine Learning, 1997. -№ 29. - P. 181–212.
10. Wermuth N., Marchetti G. Star graphs induce tetrad correlations: For Gaussian as well as for binary variables. Electron. J. Stat., 2014. - № 8. – P. 253–273.
11. Bartolucci F., Besag J. A recursive algorithm for Markov random fields // Biometrika, 2002. - №. 89. -P. 724–730.

А. Шаяхметова*¹, А. Ахметова¹, А. Абдилдаева¹, Н. Литвиненко¹, А. Закирова²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

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

Аңдатпа. Мақалада Байес желілерінің теориясын (бұдан әрі БЖ) қолдана отырып, ықтималдық себеп-салдарлық модельдерді ұсынудың кейбір әдістері қарастырылады. Бұл модельдер әртүрлі белгісіздіктері бар тапсырмаларды жақсы сипаттайды. БЖ теориясы түйіндердің кейбір қосымша түрлерімен толықтырылған әсер ету диаграммалары немесе ӘД деп аталады. ӘД көптеген шешімдерді қарастыруға, оларды сандық бағалауға және қарастырылған нұсқалардың ішінен ең жақсысын таңдауға мүмкіндік береді. Дегенмен, ӘД-де оңтайлы шешімді табу мүмкін

емес. ӘД-де кейбір айнымалыларға сызықтық шектеулер жүйесін құру мүмкін емес, дегенмен мұндай шектеулермен практикалық есептердің үлкен класы бар.

Мақалада кейбір БЖ айнымалыларындағы сызықтық шектеулерді сипаттау үшін ӘД-ні кеңейту идеясы сипатталған. Болашақта бұл әр түрлі белгісіздіктер мен кейбір айнымалылар арасындағы себеп-салдарлық байланыстары бар есептер үшін сызықтық бағдарламалау мағынасында оңтайлы шешімді табу үшін ӘД-да сызықтық бағдарламалау идеяларын қолдануға көмектеседі. Жұмыс «AP19679142 Сызықтық шектеулер мен сызықтық функционалдығы бар модельдерде Байес желілерінде оңтайлы шешімдерді табу. Алгоритмдер мен бағдарламаларды құру» гранттық қаржыландыру негізінде орындалды (2023-2025жж.). Оңтайлылық сызықтық бағдарламалау мағынасында -сызықтық шектеулер жүйесі, сызықтық функционалдың экстремумы түсініледі. Теория бағдарламалық өнімде жүзеге асырылады.

Кілттік сөздер: Байес желісі, бағытталған ациклді график, графикалық модель, дәлел, дәлелдемелерді тарату, шартты Ықтималдықтар кестесі, әсер ету диаграммалары.

А. Шаяхметова*¹, А. Ахметова¹, А. Абдилдаева¹, Н. Литвиненко¹, А. Закирова²

¹Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан

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

Линейные ограничения переменных в диаграммах влияния для причинно-следственных моделей

Аннотация. В статье рассматриваются некоторые способы представления вероятностных причинно-следственных моделей с использованием теории байесовских сетей (в дальнейшем БС). Данные модели хорошо описывают задачи с различными видами неопределенностей. Теория БС, дополненная некоторыми дополнительными типами узлов, называется диаграммами влияния, или ДВ. ДВ позволяют рассмотреть некоторое множество вариантов решений, оценить их количественно и выбрать лучшее из рассмотренных вариантов. Однако поиск оптимального решения в ДВ практически невозможен. В ДВ невозможно даже создать систему линейных ограничений на некоторые переменные, хотя существует большой класс практических задач с такими ограничениями. В статье описывается идея расширения ДВ для описания линейных ограничений на некоторые переменные БС. В дальнейшем это поможет использовать идеи линейного программирования в ДВ для поиска оптимального решения в смысле ЛП для задач с различными видами неопределенностей и причинно-следственными связями между некоторыми переменными. Работа написана в рамках грантового финансирования AP19679142 «Поиск оптимальных решений в байесовских сетях в моделях с линейными ограничениями и линейными функционалами. Разработка алгоритмов и программ» (2023-2025гг.) МОНВ РК. В рамках данного проекта будет разработана теория, позволяющая находить оптимальные решения в байесовских сетях. Оптимальность будет пониматься в смысле линейного программирования – система линейных ограничений, экстремум линейного функционала. Теория будет реализована в программном продукте.

Ключевые слова: Байесовская сеть, направленный ациклический граф, графическая модель, свидетельство, распространение свидетельств, таблица условных вероятностей, диаграммы влияния.

Information about the authors:

Shayakhmetova A.S. – PhD, Associate Professor of the Department of Artificial Intelligence and Big Data, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

Akhmetova A.M. – PhD, acting Associate Professor of the Department of Artificial Intelligence and Big Data, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

Abdildayeva A.A. – PhD, Associate Professor of the Department of Artificial Intelligence and Big Data, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

Litvinenko N.G. – master, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan.

Zakirova A.B. – Candidate of Pedagogical Sciences, Associate Professor of the Department of Computer Science, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan.

Шаяхметова А.С. – PhD, ассоциированный профессор кафедры искусственного интеллекта и Big Data, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

Ахметова А.М. – PhD, и.о. ассоциированного профессора кафедры искусственного интеллекта и Big Data, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

Абдилдаева А.А. – PhD, ассоциированный профессор кафедры искусственного интеллекта и Big Data, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

Литвиненко Н.Г. – магистр, Казахский национальный университет имени аль-Фараби, Алматы, Казахстан.

Закирова А.Б. – кандидат педагогических наук, доцент кафедры информатики, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан.

Шаяхметова А.С. – PhD, Жасанды интеллект және Big Data кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

Ахметова А.М. – PhD, Жасанды интеллект және Big Data кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а., Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

Абдилдаева А.А. – PhD, Жасанды интеллект және Big Data кафедрасының қауымдастырылған профессоры, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

Литвиненко Н.Г. – магистр, Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

Закирова А.Б. – педагогика ғылымдарының кандидаты, информатика кафедрасының доценті, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 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/>).



МРНТИ 06.81.23

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-203-218>

Научная статья

Исследование оптимальных параметров наплавки при восстановлении валов электродвигателей

О.М. Жаркевич*¹, А.Е. Мухитова¹, О.А. Нуржанова¹, А.В. Бессонов²,
Г.К. Тайманова³

¹ НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова», Караганда, Казахстан

² ТОО «Автоматические котлы», Караганда, Казахстан

³ НАО «Казахский национальный университет имени Аль-Фараби», Алматы, Казахстан

(E-mail: nurzhanova_o@mail.ru)

Аннотация. Ремонт поврежденных или изношенных валов электродвигателей является важной частью восстановительных работ, с которыми сталкиваются многие промышленные предприятия. В производственном секторе поддержание оптимальной работы электродвигателей имеет важное значение для обеспечения бесперебойной и эффективной работы производства. Для сокращения затрат на покупку новых валов электродвигателей в случае их поломки или износа промышленные предприятия используют наплавку. Качество наплавленного слоя в том числе определяется способом наплавки и его технологическими режимами. В данной статье рассматривается проблема получения качественного слоя при восстановлении валов электродвигателей наплавкой тремя способами: ручной наплавкой, полуавтоматической наплавкой в среде защитных газов и автоматической наплавкой под флюсом. Определены преимущества и недостатки каждого способа наплавки. Установлены оптимальные технологические режимы наплавки (сила тока и напряжение сварочной дуги) различными способами на основе эксперимента с определением геометрических параметров (ширина шва, высота шва, глубина проплавления шва) и физико-механических свойств восстанавливаемых поверхностей (твердость).

Ключевые слова: наплавленный слой, сила тока, напряжение, глубина проплавления, твердость.

Поступила 16.02.2024 Доработана 11.05.2024 Одобрена 20.06.2024 Доступна онлайн 30.06.2024

* автор для корреспонденции

Введение

Валы являются ответственными деталями, передающими крутящий момент и мощность в электродвигателях [1]. Из-за знакопеременных нагрузок и функции валов, которую они выполняют, в результате эксплуатации возникают различные виды дефектов, к которым относятся: износ, вмятины, риски, задиры, трещины, смятие поверхности [2].

В этом случае валы подлежат замене или восстановлению. Однако замена вала влечет за собой существенные финансовые издержки. Для экономии средств вместо покупки нового вала часто используют восстановление наплавкой [3].

В зависимости от возможности предприятий при восстановлении валов электродвигателей используют такие методы наплавки, как ручной, полуавтоматический в среде защитных газов и автоматический [4]. Каждый из методов наплавки имеет свои преимущества и недостатки.

Преимущества различных методов наплавки [5]:

- простота, небольшая зона нагрева обрабатываемого материала (ручная наплавка);
- экономичность, высокое качество швов и адгезия; универсальность в плане обрабатываемых материалов и их толщины, независимость результата от пространственного положения (полуавтоматическая наплавка в среде защитных газов);

- высокая производительность, хорошее формирование валиков (автоматическая наплавка под слоем флюса).

Недостатками различных методов наплавки [6]:

- зависимость от квалификации сварщика, низкая производительность, значительное проплавление основного металла (ручная наплавка);

- повышение разбрызгивания металла на 10-12%, органическое изменение состава металла, низкая скорость формирования шва (полуавтоматическая наплавка в среде защитных газов);

- коробление из-за высокого нагрева; непригодность для наплавки мелких изделий сложной формы (автоматическая наплавка под слоем флюса).

При использовании любого из указанных способов наплавки можно регулировать параметры технологического режима (силу сварочного тока, напряжение, колебательные движения сварочной дуги, скорость колебаний и т.д.).

Выбор оптимальных режимов наплавки является одним из основных путей достижения требуемого качества восстанавливаемой поверхности валов электродвигателей. Также этот выбор позволяет влиять на такие показатели, как: дефекты наплавленного слоя, наличие остаточных изменений формы и размеров, суммарный расход наплавленного материала, удобство выполнения наплавки, общие загрязнения поверхности детали и окружающего пространства.

Целью данной статьи является выбор оптимальных режимов наплавки различными способами на основе эксперимента для получения требуемых геометрических и физико-механических свойств восстанавливаемых поверхностей валов электродвигателей.

Методология

В качестве применяемых наплавочных материалов для осуществления ручной дуговой наплавки использовались штучные электроды марки УОНИ 13/55 СК Ø4 мм и электроды марки S – 7018G Ø2.6 мм. В качестве наплавочного материала при выполнении полуавтоматической наплавки в среде защитных газов использовались сварочные проволоки марки – Св-08Г2С Ø1.2 мм и STOODY-102G Ø1.6 мм. Для выполнения автоматической наплавки под слоем защитного флюса применялась сварочная проволока марки Св-08Г2С Ø2мм и наплавочная порошковая газозащитная сварочная проволока STOODY 102-G Ø1,2 мм. При автоматической наплавке использовался флюс Ан-348-А.

Химический состав и физико-механические свойства применяемых наплавочных материалов приведены в таблицах 1 и 2.

Таблица 1. Химический состав и физико-механические свойства наплавочных материалов

Марка	C, %	Si, %	Mn, %	P, %	S, %	σ_r , МПа	σ_b , МПа	δ , %	KCV, Дж/см ²
УОНИ 13/55 СК	0.09	0.42	1.05	0.021	0.018	410	540	29	260
S – 7018G	0.06	0.5	1.2	0.017	0.011	504	572	29.8	111
Св-08Г2С	0.05 -0.08	1.8 -1.95	0.7 -0.95	0.025	0.02	440	900	28	43

Таблица 2. Химический состав наплавочного материала при автоматической наплавке с флюсом Ан-348-А

Марка	C, %	Si, %	Mn, %	Cu, %	Mo, %	W, %	V, %	Cr, %
STOODY-102G	0.2-0.4	0.3 -1.3	1-2	5-8	0.8-1,5	0.5-1.5	0.2	8

Для ручной дуговой наплавки использовался сварочный выпрямитель ВДМ 1202С, оснащенный регулятором частоты сварочного тока марки ЧПР-315 УРАЛ (04) (рисунок 1).



Рисунок 1. Сварочный аппарат для ручной дуговой наплавки.

Для полуавтоматической наплавки применялся сварочный аппарат ПДГ-252 (рисунок 2).



Рисунок 2. Сварочный аппарат для полуавтоматической наплавки

В ходе эксперимента применялась специальная подвижная каретка «KOWELD CS-100С» (рисунок 3), установленная на направляющей шине, что позволило получить сварные швы наилучшего качества на протяжении всей длины сварного шва.



Рисунок 3. Общий вид используемой каретки с установленной сварочной горелкой

Для автоматической наплавки под слоем флюса применялся сварочный трактор АДФ-1005 УРАЛ с источником питания марки ВДУ-1205 УРАЛ (рисунок 4).



Рисунок 4. Сварочный аппарат для автоматической наплавки

Результаты и Обсуждение

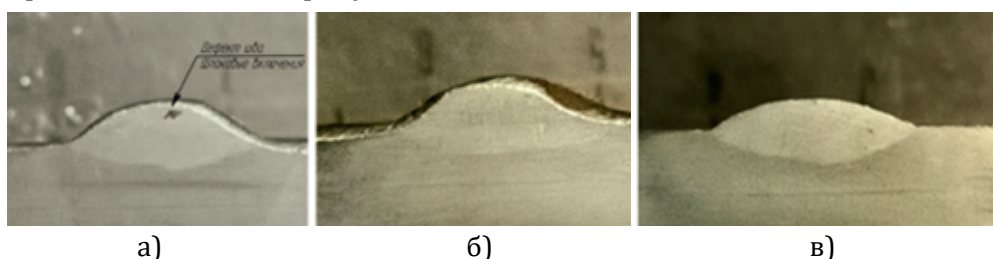
Ручная дуговая наплавка на образец осуществлялась как прямолинейным сварным швом, так и с помощью колебательных движений. При этом отмечалась плавность горения сварочного электрода и тщательное покрытие застывающей сварочной ванны шлаком.

Режимы ручной дуговой наплавки и геометрические параметры, а также твердость полученного наплавленного слоя, приведены в таблице 3.

Таблица 3. Режимы ручной дуговой наплавки

Параметры режима	Марка электродов	S-7018.G			УОНИ 13/55 СК		
		Ø 2.6 мм			Ø 4 мм		
Номер наплавленного шва		I'	II'	III'	1'	2'	3'
Входные параметры							
Сила сварочного тока, А		85	95	105	110	120	130
Сварочное напряжение, В		21.2	22	22.8	26	26.5	27
Выходные параметры							
Ширина наплавленного слоя, мм		8.44	9.78	10.46	10.24	11.12	12.06
Высота наплавленного слоя, мм		2.24	2.12	1.58	1.38	2.34	3.12
Глубина проплавления, мм		1.08	1.58	1.74	2.02	2.38	2.52
Твердость наплавленного слоя, HV		316	407	446	437	472	485

Выходные параметры наплавленных швов ручной дуговой наплавкой определялись на микрошлифах, показанных на рисунке 3 и 4.



- а) поперечное сечение шва, выполненного параметрами режима № I' ;
- б) поперечное сечение шва, выполненного параметрами режима № II' ;
- в) поперечное сечение шва, выполненного параметрами режима № III' ;

Рисунок 3. Общий вид поперечного сечения наплавленных швов электродами марки S-7018.G Ø1,2 мм

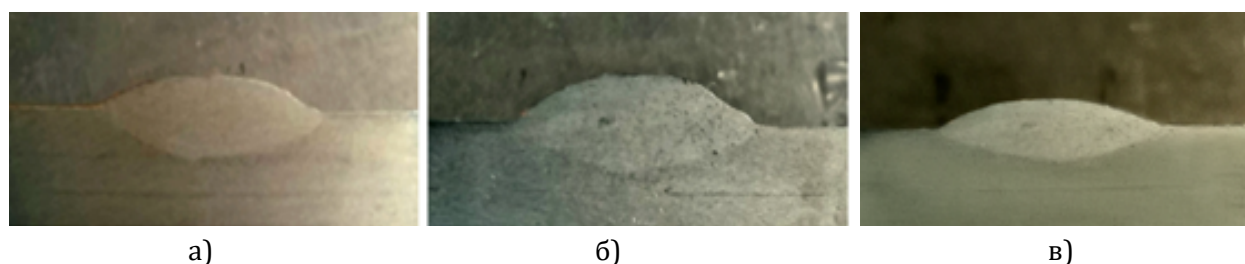
Анализ микрошлифов швов, наплавленных электродами марки S-7018.G показал, что использование параметров режима I' вследствие заниженного значения силы сварочного тока в процессе наплавки дает уменьшенные геометрические параметры

шва. Более того в образце, наплавленном на режиме I', обнаружены шлаковые включения. Наличие шлакового включения объясняется быстрым остыванием небольшого объема наплавленного металла, вследствие этого весь шлак не успевает покинуть границы сварочной ванны.

При анализе шлифов установлено, что режим наплавки II' (95A/22B) обеспечивает наилучшее наплавление сварочного материала, при относительно меньшей глубине проплавления и, как следствие, меньших остаточных деформациях, а также имеет необходимые геометрические характеристики шва по ГОСТ 5264-80.

Для проведения сравнительного исследования использовались сварочные электроды марки УОНИ 13/55 СК с диаметром прутка 4 мм. В результате визуального наблюдения в процессе выполнения наплавки замечено значительное начальное проплавление испытуемого образца и дальнейшая наплавка образуемого сварочной дугой кратера. Горение электрода можно охарактеризовать как практически стабильное, присутствует вероятность затухания электрода и дальнейшее прилипание к основному металлу из-за неравномерности выдержки зазора между торцом электрода и основным металлом, а также склонности электродов подобных марок к прилипанию на низких режимах.

На рисунке 4 представлены поперечные сечения наплавленных швов, выполненных штучными электродами марки УОНИ 13/55 СК Ø4мм.



- а) поперечное сечение шва, выполненного параметрами режима № 1';
- б) поперечное сечение шва, выполненного параметрами режима № 2';
- в) поперечное сечение шва, выполненного параметрами режима № 3'

Рисунок 4. Общий вид поперечного сечения наплавленных швов электродами марки УОНИ 13/55 СК Ø4 мм

Согласно проведенному анализу поперечного сечения наплавленных электродами УОНИ 13/55 СК швов, наблюдается увеличение геометрических параметров наплавленных швов по высоте, ширине и глубине при увеличении режимов наплавки. При наплавке электродами УОНИ 13/55 оптимальным режимом является режим 2' (120A/26.5B), обеспечивающий стабильное горение сварочной дуги и формирование качественного наплавленного шва, при меньших тепловложениях в основной металл.

В общем, при использовании ручной дуговой наплавки не наблюдается прямой зависимости между увеличением сварочного тока/напряжения и увеличением или уменьшением геометрических параметров шва. Можно заметить, что при использовании электродов S-7018.G при увеличении технологических режимов наплавки ширина и глубина наплавленного шва возрастают, а высота наплавленного слоя уменьшается, в то время как при использовании электродов УОНИ 13/55 СК при увеличении

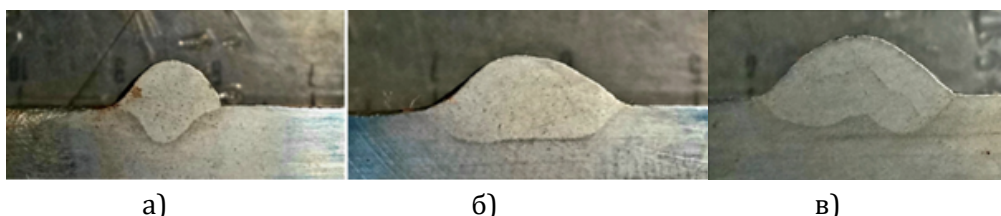
технологических режимов наплавки, все геометрические параметры наплавленного слоя увеличиваются.

При применении полуавтоматической наплавки с отсутствием/наличием поперечного перемещения сварочной головки были получены выходные параметры наплавленного шва, показанные в таблице 4.

Таблица 4. Режимы полуавтоматической наплавки в среде защитных газов

Параметры режима	Марка св. проволоки	Св-08Г2С			ESAB STOODY 102G		
		Ø 1.2 мм			Ø 1.6 мм		
Номер наплавленного шва		Г'	II'	III'	1'	2'	3'
Входные параметры							
Сила сварочного тока, А		135	160	170	200	220	260
Сварочное напряжение, В		20	20	20,5	21	20	23
Скорость перемещения сварочной горелки, см/мин		30	30	25	15	10	13
Колебания горелки		-	3	4	-	3	4
Ширина колебаний, мм		-	20	35	-	25	20
Скорость колебаний, мм/мин		-	20	25	-	25	20
Расход защитного газа, л/мин		7			10		
Расстояние от сопла до горелки, мм		10			12		
Выходные параметры							
Ширина наплавленного слоя, мм		7.44	9.74	10.48	9.04	10.08	13.42
Высота наплавленного слоя, мм		3.02	2.62	2.72	2.46	3.04	3.02
Глубина проплавления, мм		2.52	2.22	2	2.12	1.94	1.12
Твердость наплавленного слоя, HV		319	313	364	425	459	415

На рисунке 5 представлено поперечное сечение наплавленных швов, выполненных полуавтоматической наплавкой в среде защитного газа (CO₂ 100%) с применением сварочной проволоки марки Св-08Г2С Ø1,2 мм.

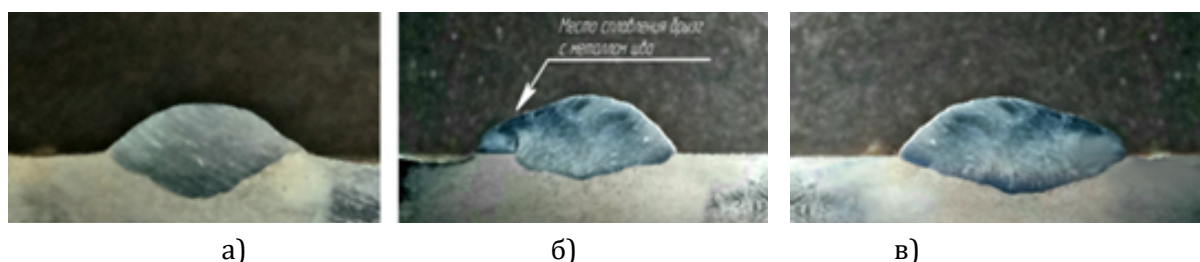


- а) поперечное сечение наплавленного шва, выполненного согласно режиму номер Г'";
- б) поперечное сечение наплавленного шва, выполненного согласно режиму номер II'";
- в) поперечное сечение наплавленного шва, выполненного согласно режиму номер III'";

Рисунок 4 – Общий вид поперечного сечения выполненных наплавленных швов с применением сварочной проволоки Св-08Г2С

Как видно из рисунка 5, при использовании режимов, указанных в таблице 2, режим I'' формирует шов с завышенной высотой валика, при относительно низкой глубине проплавления. Плавный переход от основного металла к металлу шва обеспечивает снижение вероятности образования концентраторов напряжения. Оптимальным является режим II'' (160А/20В), т.к. глубина проплавления однородна по всей ширине шва.

На рисунке 6 представлено поперечное сечение наплавленных швов, выполненных полуавтоматической с применением сварочной проволоки марки ESAB STOODY 102G Ø1.6 мм.



- а) поперечное сечение наплавленного шва, выполненного согласно режиму номер 1'';
- б) поперечное сечение наплавленного шва, выполненного согласно режиму номер 2'';
- в) поперечное сечение наплавленного шва, выполненного согласно режиму номер 3''

Рисунок 6 – Общий вид поперечного сечения наплавленных швов с применением сварочной проволоки ESAB STOODY 102G Ø1.6 мм

Из рисунка 6 видно, что на режиме 2'' образовался подрез зоны сплавления брызг с металлом шва, т.е. дефект в виде углубления по линии сварного шва с основным металлом. Следовательно, оптимальным режимом при использовании проволоки ESAB STOODY 102G для полуавтоматической наплавки является режим 3'' (260А/23В), т.к. при нем отсутствуют дефекты и глубина проплавления является наименьшей.

Автоматическая наплавка под слоем флюса требует ряд предварительных, подготовительных операций [7]. По окончании подготовительных работ в зону зажигания дуги предварительно высыпается сварочный флюс через флюсопитатель [8].

Выбранные режимы автоматической наплавки под слоем флюса сведены в таблицу 5.

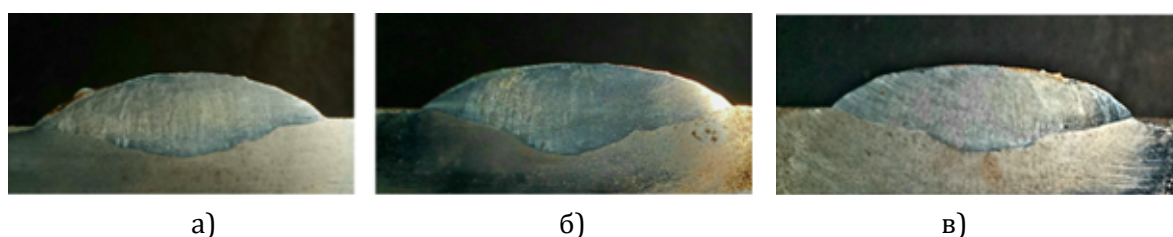
Таблица 5. Параметры автоматической наплавки под слоем флюса

Параметры режима	Марка св. проволоки	Св-08Г2С			ESAB STOODY 102G		
		Ø 2 мм			Ø 1.6 мм		
Номер наплавленного шва		1*	2*	3*	1**	2**	3**
Входные параметры							
Сила сварочного тока, А		200	220	250	230	240	250
Сварочное напряжение, V		32	33	34	32	33	34
Расстояние от сварочной головки до основного металла, мм		40			40		

Выходные параметры						
Ширина наплавленного слоя, мм	20.58	23.08	24.82	24.15	24.65	24.90
Высота наплавленного слоя, мм	3.32	3.02	3.04	3.2	3.03	3.06
Глубина проплавления, мм	2.56	3.12	3.02	3.1	3.03	3.05
Твердость наплавленного слоя, HV	555	748	826	752	805	850

Процесс горения сварочной дуги характеризуется высокими скоростями подачи проволоки и показателями режимов наплавки.

На рисунке 7 представлено поперечное сечение образцов, выполненных автоматической наплавкой под слоем флюса сварочной проволокой Св-08Г2С.



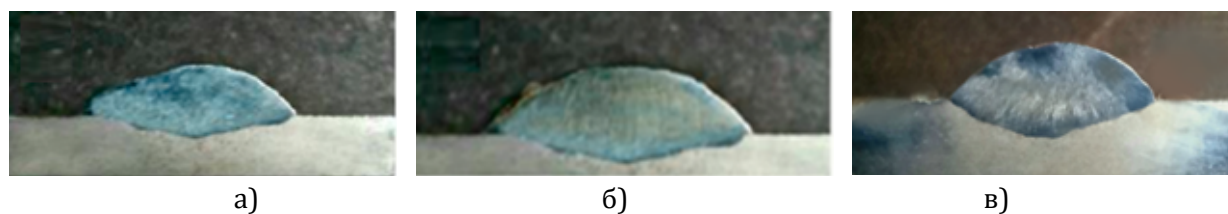
- а) поперечное сечение наплавленного шва, выполненного согласно режиму номер 1*;
- б) поперечное сечение наплавленного шва, выполненного согласно режиму номер 2*;
- в) поперечное сечение наплавленного шва, выполненного согласно режиму номер 3*

Рисунок.7 – Общий вид поперечного сечения образцов, наплавленных автоматической наплавкой под слоем флюса с применения проволоки Св-08Г2С Ø 2 мм

Как и следует ожидать от повышенных режимов, при автоматической наплавке образцы демонстрируют значительное увеличение геометрических параметров наплавленных швов по сравнению с полуавтоматической и ручной наплавкой.

Оптимальным режимом автоматической наплавки проволокой Св-08Г2С Ø 2 мм является режим 2* (220А/33В), т.к. глубина проплавления является минимальной и достаточной.

На рисунке 8 показаны поперечные сечения образцов, выполненных автоматической наплавкой под слоем флюса сварочной проволокой ESAB STOODY 102G.



- а) поперечное сечение наплавленного шва, выполненного согласно режиму номер 1**;
- б) поперечное сечение наплавленного шва, выполненного согласно режиму номер 2**;
- в) поперечное сечение наплавленного шва, выполненного согласно режиму номер 3**

Рисунок 8 – Общий вид поперечного сечения образцов, наплавленных автоматической наплавкой под слоем флюса с применения проволоки ESAB STOODY 102G Ø1.6 мм

Из рисунка 8 видно, что картина распределения наплавленного шва аналогична образцам из проволок Св-08-Г2С. Все геометрические характеристики шва увеличены по сравнению со швами, выполненными другими способами наплавки. Распределение шва является равномерным.

Оптимальным режимом автоматической наплавки проволокой ESAB STOODY 102G Ø1.6 мм является режим 2** (240А/33В), т.к. глубина проплавления является минимальной.

Установлено, что твердость наплавленных швов при автоматической наплавке имеет высокие значения (555 – 850 НВ), что в дальнейшем трудно поддается механической обработке.

Наглядно распределение выходных параметров (геометрии наплавленного шва и твердости) в зависимости от входных параметров (технологических режимов) представлены на рисунках 9-12.

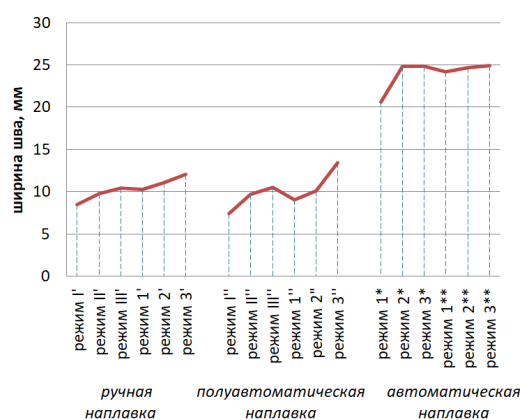


Рисунок 9 – Распределение ширины наплавленного слоя в зависимости от режимов наплавки различными способами

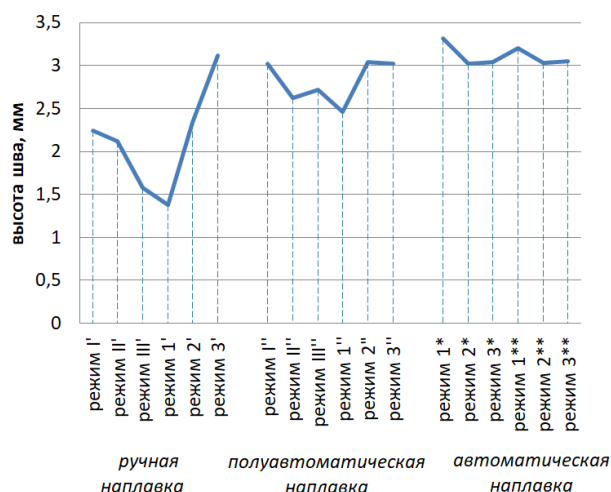


Рисунок 10 – Распределение высоты наплавленного слоя в зависимости от режимов наплавки различными способами

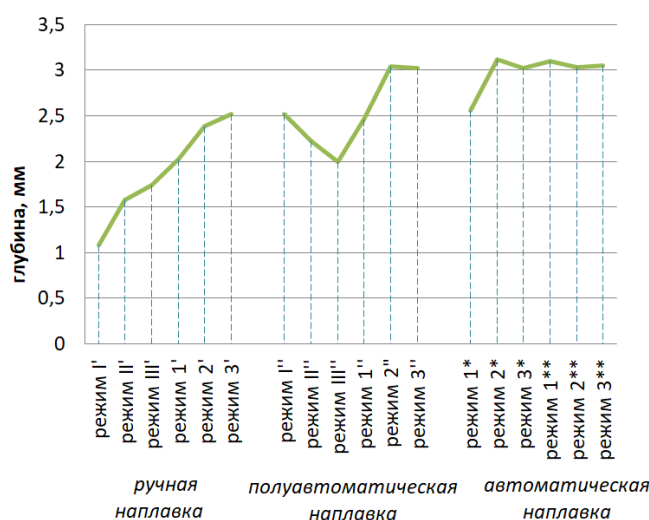


Рисунок 11 – Распределение глубины проплавления слоя в зависимости от режимов наплавки различными способами

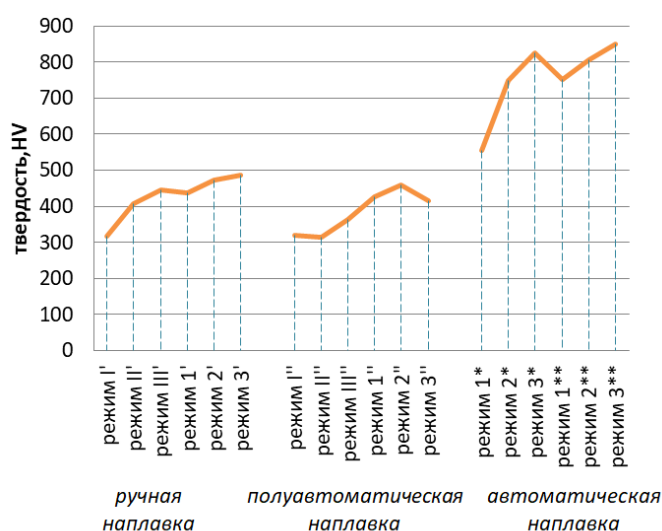


Рисунок 12 – Распределение твердости наплавленного слоя в зависимости от режимов наплавки различными способами

Из рисунка 9 видно, что наибольшей шириной полученных швов обладает автоматическая наплавка под слоем флюса, в то время как ручная и полуавтоматическая наплавка отличаются относительно одинаковыми результатами. Значительное увеличение ширины шва на режиме 3'' полуавтоматической наплавки объясняется применением колебательных движений в процессе наплавки, а также увеличением тока и напряжения дуги.

Из рисунка 10 видно, что при использовании ручной дуговой наплавки штучным электродом достигнута самая наименьшая высота валика наплавленного шва.

Относительно меньшая высота валика наплавляемого шва может способствовать необходимости выполнения повторной наплавки, т.к. привести к многослойной наплавке. Подобные технические решения негативно сказываются на качестве восстанавливаемой детали, а также значительно увеличивают время затраты на ремонт деталей [9].

Как видно из рисунка 11, при использовании колебательных движений в процессе полуавтоматической наплавки глубина проплавления значительно снижается на режиме III", что позволяет уменьшить количество остаточных деформаций. В то же время снижение глубины проплавления увеличивает риск несплавления наплавленного металла с основным [10].

Анализируя данные рисунка 12, можно отметить, что применение полуавтоматической наплавки обеспечивает относительно одинаковые с основным металлом показатели твердости HV. Твердость при использовании автоматической наплавки является максимальной.

Заключение

При восстановлении валов электродвигателей должно быть обеспечено соотношение хорошего сплавления наплавленного слоя с подложкой, при этом глубина проплавления должна быть минимальной, но достаточной.

Однако, чтобы получить не только минимальную глубину проплавления, но и меньшие тепловложения, равномерное распределения наплавленного металла, отсутствие дефектов в наплавленном слое, рекомендуется использовать следующие технологические режимы:

- ручная наплавка – (95А/22В – S- 7018.G; 120А/26.5В - УОНИ 13/55 СК);
- полуавтоматическая наплавка – (160А/20В – Св-08Г2С; 260А/23В – ESAB STOODY-102G);
- автоматическая наплавка – (220А/33В - Св-08Г2С; 240А/33В – ESAB STOODY-102G).

Указанные режимы обеспечивают сплавление наплавленного металла с основным, а также снижают вероятность возникновения внутренних дефектов из-за быстрого остывания.

Твердость наплавленного слоя колеблется в пределах:

- ручная наплавка – ((319 ÷ 446) – S- 7018.G; (437 ÷ 485) - УОНИ 13/55 СК);
- полуавтоматическая наплавка – ((319 ÷ 364) - Св-08Г2С; (415 ÷ 459) – ESAB STOODY-102G);
- автоматическая наплавка – ((555 ÷ 826) – Св-08Г2С; (752 ÷ 850) – ESAB STOODY-102G).

Величины твердости наплавленного слоя соответствуют и превосходят твердость основного металла (Ст 45).

В дальнейшем исследования будут расширены в вопросах нахождения взаимосвязи качества наплавленного слоя в зависимости от изменения химического состава наплавляемого материала, а также диаметрами проволок/ электродов и регулирования газодинамического воздействия защитного газа.

Вклад авторов:

О.М. Жаркевич, А.Е. Мухитова, О.А. Нуржанова – концепция, методология, ресурсы, сбор данных, тестирование.

А.В. Бессонов, Г.К. Тайманова – моделирование, анализ, визуализация, интерпретация, написание, редактирование.

Список литературы

1. Зуев А.А. Технология машиностроения. - 2-е изд., испр. и доп. - СПб.: Изд-во "Лань", 2003. - 496 с.
2. Жаркевич О.М., Тайманова Г.К., Мукушева А.Е. Электр қозғалтқыштарының біліктерінің ақауларын талдау және оларды қалпына келтіру әдістері //Труды университета, №4, 2023. – С. 3-8.
3. Ельцов В.В. Восстановление и упрочнение деталей машин. – Тольятти: изд-во ТГУ, 2015. - 335 с.
4. Tomerlin D. Repair welding of a rotating electrical machine's broken shaft // Welding and Cutting, 18, 2019, No. 3. – P. 198 – 203.
5. Lewandowski J.J., Seifi M. Metal additive manufacturing: a review of mechanical properties //Annu Rev Mater Res, 46, 2016. - P. 151-153.
6. Ельцов В.В. Ремонтная сварка и наплавка деталей машин и механизмов. – Тольятти: Изд-во ТГУ, 2012. – 176 с.
7. Стеблев А.А., Стеблев М.А. Способы восстановления рабочих поверхностей валов // Инновационная наука, №9, 2020. – С. 24 - 29.
8. Головки В. Сварка под флюсом пульсирующей дугой //Sciences of Europe, 101, 2022. – С.62 – 72.
9. Малушин Н.Н., Валуев Д.В., Осетковский В.Л., Валуева А.В., Серикбол А.С. Критерии выбора параметров термического цикла при наплавке теплостойкими сталями высокой твердости деталей металлургического оборудования //Современные проблемы науки и образования, № 1(часть 1), 2015. – С. 1 – 8.
10. Овчинников В.В. Дефектация сварных швов и контроль качества сварных соединений. – М.: Издательский центр «Академия», 2017. – 224 с.

О.М.Жаркевич^{*1}, А.Е.Мухитова¹, О.А.Нуржанова¹, А.В. Бессонов², Г.К.Тайманова³

¹НАО «Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова»,
Караганда, Казахстан

²ТОО «Автоматические котлы», Караганда, Казахстан

³НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», Алматы, Казахстан
(E-mail: ¹zharkevich82@mail.ru)

Электр қозғалтқыштарының біліктерін қалпына келтіру кезінде бетінің оңтайлы параметрлерін зерттеу

Аңдатпа. Зақымдалған немесе тозған электр қозғалтқышының біліктерін жөндеу көптеген өнеркәсіптік кәсіпорындарда кездесетін қалпына келтіру жұмыстарының маңызды бөлігі болып табылады. Өндірістік секторда электр қозғалтқыштарының оңтайлы жұмысын қамтамасыз ету өндірістің үздіксіз және тиімді жұмысын қамтамасыз ету үшін өте маңызды. Электр қозғалтқыштарының жаңа біліктерін сатып алу шығындарын азайту үшін, егер олар сынған немесе тозған болса, өнеркәсіптік кәсіпорындар беткі қабатты пайдаланады. Балқытылған қабаттың сапасы, оның ішінде балқыту әдісімен және оның технологиялық режимдерімен анықталады.

Бұл мақалада электр қозғалтқыштарының біліктерін үш жолмен қалпына келтіру кезінде сапалы қабат алу мәселесі қарастырылады: қолмен балқыту, қорғаныс газдарының ортасында жартылай автоматты балқыту және ағынның астында автоматты балқыту. Әр балқыту әдісінің артықшылықтары мен кемшіліктері анықталды. Геометриялық параметрлерді (тігістің ені, тігістің биіктігі, тігістің балқу тереңдігі) және қалпына келтірілетін беттердің физика-механикалық қасиеттерін (қаттылық) анықтай отырып, эксперимент негізінде әр түрлі тәсілдермен балқытудың оңтайлы технологиялық режимдері (дәнекерлеу доғасының ток күші мен кернеуі) орнатылды.

Түйін сөздер: Балқытылған қабат, ток күші, кернеу, балқу тереңдігі, қаттылық.

Zharkevich O.M.¹, Muchitova A.E.¹, Nurzhanova O.A.¹, Bessonov A.V.², Taimanova G.K.³

¹Karaganda Technical University named after Abylka Saginov", Karaganda, Kazakhstan

²TOO "Automatic boilers", Karaganda, Kazakhstan

³Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

Study of optimal hardfacing parameters when restoring electric motor shafts

Abstract. Repairing damaged or worn motor shafts is an important part of the restoration work faced by many industrial plants. In the manufacturing sector, keeping electric motors running optimally is essential to keeping production running smoothly and efficiently. To reduce the cost of purchasing new electric motor shafts in the event of their breakdown or wear, industrial enterprises use surfacing. The quality of the deposited layer is determined, among other things, by the surfacing method and its technological modes.

This article discusses the problem of obtaining a high-quality layer when restoring electric motor shafts by surfacing in three ways: manual surfacing, semi-automatic surfacing in a protective gas

environment and automatic submerged surfacing. The advantages and disadvantages of each surfacing method are determined. Optimal technological modes of surfacing (current strength and welding arc voltage) were established using various methods based on an experiment with determination of geometric parameters (weld width, weld height, weld penetration depth) and physical and mechanical properties of restored surfaces (hardness).

Key words: deposited layer, current strength, voltage, penetration depth, hardness.

References

1. Zuev A.A. Tekhnologiya mashinostroeniya. - 2-e izd., ispr. i dop. - SPb.: Izd-vo "Lan", 2003. - 496 s.
2. ZHarkevich O.M., Tajmanova G.K, Mukusheva A.E. Elektr qozfaltqyshtarynuñ bilikteriniñ aqaularyn taldau zhәне olardy qalpyna keltiru әdisteri //Trudy universiteta, №4, 2023. – S. 3 – 8.
3. El'cov V.V. Vosstanovlenie i uprochnenie detalej mashin. – Tol'yatti: izd-vo TGU, 2015. - 335 s.
4. Tomerlin D. Repair welding of a rotating electrical machine's broken shaft // Welding and Cutting, 18, 2019, No. 3. – P. 198 – 203.
5. Lewandowski J.J., Seifi M. Metal additive manufacturing: a review of mechanical properties //Annu Rev Mater Res, 46, 2016. - P. 151-153.
6. El'cov V.V. Remontnaya svarka i naplavka detalej mashin i mekhanizmov. – Tol'yatti: Izd-vo TGU, 2012. – 176 s.Karaganda. Karagandinskaia oblast: Entsiklopediia [Karaganda. Karaganda region: Encyclopedia] [Alma-Ata, 1986, 608 p.] [in Russian]
7. Steblev A.A., Steblem M.A. Sposoby vosstanovleniya rabochihpoverhnostej valov //Innovacionnaya nauka, №9, 2020. – S. 24 - 29.
8. Golovko V. Svarka pod flyusom pul'siruyushchej dugoj //Sciences of Europe, 101, 2022. – С.62 – 72
9. Malushin N.N., Valuev D.V., Osetkovskij V.L., Valueva A.V., Serikbol A.S. Kriterii vybora parametrov termicheskogo cikla pri naplavke teplostojkimi stalyami vysokoj tverdosti detalej metallurgicheskogo oborudovaniya //Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, № 1(chast' 1), 2015. – С. 1 – 8.
10. Malushin N.N., Valuev D.V., Osetkovskij V.L., Valueva A.V., Serikbol A.S. Kriterii vybora parametrov termicheskogo cikla pri naplavke teplostojkimi stalyami vysokoj tverdosti detalej metallurgicheskogo oborudovaniya //Sovremennye problemy nauki i obrazovaniya, № 1(chast' 1), 2015. - С. 1-8

Сведения об авторах:

Жаркевич О.М. – к.т.н., профессор кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация», Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан, тел.: +7 – 701-741-26-64, e-mail: zharkevich82@mail.ru.

Мухитова А.Е. – докторант кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация», Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан, тел.: +7-778-742-57-07, e-mail: adeliemukusheva@gmail.com

Нуржанова О.А. – магистр, ст.преподаватель кафедры «Технологическое оборудование, машиностроение и стандартизация», Карагандинский технический университет им. А. Сагинова, пр. Н. Назарбаева, 56, Караганда, Казахстан, тел.: +7 – 707-557-67-45, e-mail: nurzhanova_o@mail.ru.

Бессонов А.В. – магистр, оператор сварочного робота ТОО «Автоматические котлы», Молокова, 82, Караганда, Казахстан, тел.: +7-708-616-34-12, e-mail: bessonov.alex.99@mail.ru

Тайманова Г.К. – к.т.н., доцент кафедры теплофизики и технической физики, НАО «Казахский национальный университет имени аль-Фараби», пр. аль-Фараби, 71, Алматы, Казахстан, тел: +7-708-30-0960, e-mail: gtaimanova@mail.ru

Zharkevich O.M. – candidate of technical sciences, professor of the department “Technological Equipment, Mechanical Engineering and Standardization”, Abylkas Saginov Karaganda Technical University, 56 N. Nazarbayev Ave., Karaganda, Kazakhstan, tel.: +7-701-741-26-64, e-mail: zharkevich82@mail.ru.

Mukhitova A.E. – doctoral student of the department “Technological equipment, mechanical engineering and standardization” of Abylkas Saginov Karaganda Technical University, N. Nazarbayev Ave., 56, Karaganda, Kazakhstan, tel: +7-778-742-57-07, e-mail: adeliemukusheva@gmail.com

Nurzhanova O.A. – master, senior teacher of the department “Technological equipment, mechanical engineering and standardization” of Abylkas Saginov Karaganda Technical University, N. Nazarbayev Ave., 56, Karaganda, Kazakhstan, tel.: +7 – 707-557-67-45, e-mail: nurzhanova_o@mail.ru.

Bessonov A.V. – master, welding robot operator of Automatic Boilers LLP, 82 Molokova Ave., Karaganda, Kazakhstan, tel.: +7-708-616-34-12, e-mail: bessonov.alex.99@mail.ru

Taimanova G.K. – candidate of technical sciences, associate professor of the Department “Thermophysics and Technical Physics”, NJSC “Al-Farabi Kazakh National University”, 71 Al-Farabi Ave., Almaty, Kazakhstan, tel: +7-708-30-0960, e-mail: gtaimanova@mail.ru

Жаркевич О.М. – т.ғ.к., «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» «Технологиялық жабдықтар, машина жасау және стандарттау» кафедрасының профессоры, Н. Назарбаев даңғылы 56, Қарағанды, Қазақстан, тел.: +7 – 701-741-26-64, e-mail: zharkevich82@mail.ru.

Мухитова А.Е. – «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» «Технологиялық жабдықтар, машина жасау және стандарттау» кафедрасының докторанты, Н. Назарбаев даңғылы 56, Қарағанды, Қазақстан, тел: +7-778-742-57-07, e-mail: adeliemukusheva@gmail.com

Нуржанова О.А. – аға оқытушы «Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті» «Технологиялық жабдықтар, машина жасау және стандарттау» кафедрасының магистрі, Н. Назарбаев даңғылы 56, Қарағанды, Қазақстан, тел.: +7 – 707-557-67-45, e-mail: nurzhanova_o@mail.ru.

Бессонов А.В. – магистр, «Автоматты қазандықтар» ЖШС дәнекерлеу роботының операторы, Молокова 82, Қарағанды, Қазақстан, тел.: +7-708-616-34-12, e-mail: bessonov.alex.99@mail.ru

Тайманова Г.К. – т.ғ.к., «Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті» КЕАҚ жылу физикасы және техникалық физика кафедрасының доценті, Аль-Фараби даңғылы 71, Алматы, Қазақстан, тел: +7-708-30-0960, e-mail: gtaimanova@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/>).



XҒТАР 55.42.27

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-219-230>

Ғылыми мақала

Ұқсастық пайдалану шартында екі тактілі қозғалтқышты жасау саласындағы эксперименттік зерттеу

М.К. Қуанышев¹, А.К. Каукаров^{1*}, Н.С. Сауханов¹, А.Ж. Мурзагалиев¹,
Ғ.Б. Бақыт²

¹Қ. Жұбанов атындағы Ақтөбе өңірлік университеті, Ақтөбе, Қазақстан

²Логистика және көлік академиясы, Алматы, Қазақстан

(E-mail: altynbek-79@mail.ru)

Аңдатпа. Мақалада пайдаланудың ұқсас шарттарына қатысты және бәсекеге қабілетті екі тактілі қозғалтқыш құру мәселесі талданады. Қазіргі уақытта тік ағынды үрлеу, көп қақпақты тетік кезінде газ бөлудің клапанды-саңылаулы жүйесі, клапандарды гидравликалық басқару % сығудың жоғары дәрежесі кезінде дизельдік цикл және т.б. сияқты тиімді екі тактілі қозғалтқышты құру үшін алғышарттар бар. Перспективалық техникалық шешімдер кешенін іске асыру үшін конструктивтік база талап етіледі, оның негізінде екі тактілі қозғалтқыш құрастырылуы мүмкін. Осындай ретінде қозғалысты түрлендірудің кривошипті-кулисалық кинематикалық тетігі таңдалды. Механизм поршенді бүйірлік күштерден босатады, цилиндрді май қартерінен оқшаулауға мүмкіндік береді. Бұл қатты майлау негізінде цилиндрлі поршеньді топтық әзірлеуді және зерттеуді талап етті. Сондай-ақ мыс пен графиттің жылу өткізгіш және антифрикциялық материалын қолдану негізінде жақсартылған сапалық көрсеткіштері бар сырғанау мойынтіректі жетілдіру орындалды.

Түйін сөздер: екі тактілі қозғалтқыш, кривошипті-кулистік механизм, қатты майлау, сырғанау мойынтіректері, антифрикциялық материал, графит.

Түсті 25.04.2024 Жөнделді 25.04.2024 Мақұлданды 11.06.2024 Онлайн қолжетімді 30.06.2024

* хат-хабар үшін автор

Кіріспе

Бүгінде КШМ-дері іштен жану қозғалтқыштарында кең таралған. Бұл олардың жұмыс циклінің жоғары сапасымен, үнемділігімен, салыстырмалы түрде аз үлес салмағымен, үлестік габариттік қуатының жоғары мәндерімен байланысты [1,2]. Бұл көрсеткіштерге сондай-ақ индикаторлық айналу сәті мен индикаторлық қуат жатады. Кривошипті-шатунды қозғалтқыштардың аталған қасиеттері оларда ұзақ уақыт сақталады. Екі тактілі қозғалтқыштардың литрлік қуаты төрт тактілі қозғалтқышқа қарағанда 1,5-1,7 есе көп екені белгілі. Бірқатар мамандардың, атап айтқанда Неміс инженерлері одағының пікірінше, екі тактілі қозғалтқыш перспективалы. Бірқатар мамандардың, атап айтқанда Неміс инженерлері одағының пікірінше, екі тактілі қозғалтқыш перспективалы. Бірқатар автомобиль компаниялары қазірдің өзінде автомобиль үлгісіндегі екі тактілі қозғалтқыштарды («Фиат», «Крайслер», «Орбитал» және т.б.) әзірледі. Сонымен қатар бәсекеге қабілетті екі тактілі қозғалтқыш осы уақытқа дейін жасалмаған.

Екі тактілі қозғалтқышты жасау проблемасын талдау. Жоғары сапалы көрсеткіштері бар екі тактілі қозғалтқышты жасау үшін қандай алғышарттар бар? Біріншіден, мұндай қозғалтқыш дизельді болуы тиіс. Екі тактілі қозғалтқыштың сапасы бірінші кезекте үрлеуге байланысты. Бұны тура ағынды үрлеу қанағаттандырады. Ол газ алмасудың клапанды-саңылаулы жүйесі кезінде поршеньмен ашылатын цилиндрдің төменгі бөлігіндегі терезелер арқылы үрлеу ауасының жіберілуін басқару және цилиндр басындағы клапандар арқылы шығару кезінде іске асырылады. Мұндай қозғалтқыштар ХХ ғасырдың басында әзірленген, егжей-тегжейлі зерттелген және сериялы түрде өндірілген (ЯАЗ-204, ЯАЗ-206). Жақсы өңделген көп қақпақты жүйелер шығарылатын жолдың төмен кедергісіне және қозғалтқыштарды үдету факторларының бірі ретінде жоғары айналу жиілігіне ие болуға мүмкіндік береді, бұл жоғары айналымды дизель қозғалтқыштарының өндірісін игеруге мүмкіндік берді. Қазіргі уақытта $\epsilon = 40-50$ дейін қысудың жоғары дәрежесі игерілуде. Газ тарату және инжекция фазаларын түзету кезінде сығудың жоғары дәрежесі цилиндрдегі қалыпты жану қысымы және төмен шу кезінде тиімділігі жоғары изобарлық дизель циклін іске асыруға мүмкіндік береді.

Осылайша, жоғары тиімді екі тактілі қозғалтқышты жасау үшін сынақтан өткен ғылыми-техникалық алғышарттар бар. Бірақ кез келген қозғалтқыш сияқты ол белгілі бір конструктивті базада жасалуы тиіс. Қазіргі уақытта поршеньді қозғалтқыштар тронкалы кривошипті-шатунды кинематикалық механизммен орындалады.

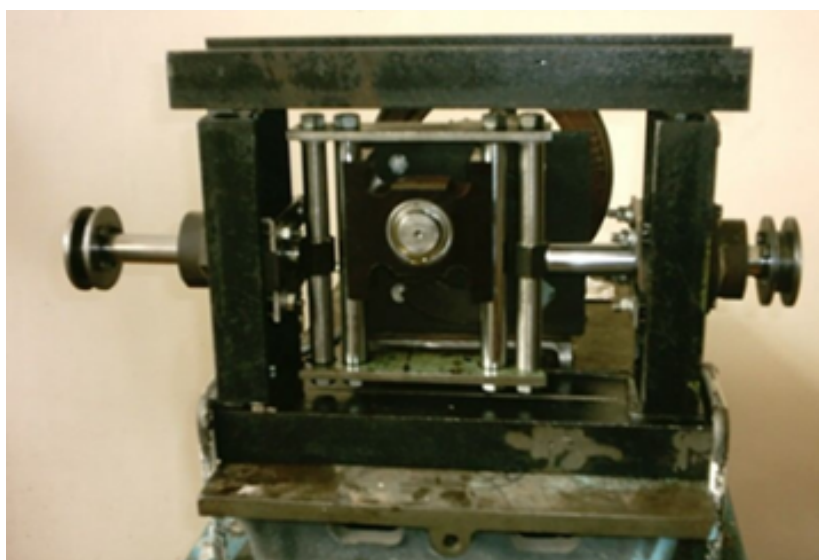
Мұндай тетіктің ерекшелігі поршеньге бүйірлік күшті беру болып табылады, бұл цилиндрлік поршеньді топта жоғары үйкеліске және цилиндр гильзасының тозуына, техникалық-экономикалық көрсеткіштердің төмендеуіне және қозғалтқыш ресурсының қысқаруына әкеп соғады. Кейбір мамандардың пікірінше, «қысық иінді-сырғымалы тетік негізінде қозғалтқыштарды жетілдірудің эволюциялық жолы қазіргі уақытта іс жүзінде таусылған».

Қозғалысты өзгертудің кривошипті-кулистік тетігі белгілі. Кривошипті-кулистік механизмнің үш кинематикалық торабы, екі сырғанау торабы және бір айналу торабы бар. Ол поршенді жанама күштерден босатады, үйкеліс шығынын төмендетеді және

қозғалтқыштың механикалық ПӘК-ін арттырады, поршенді қатаң синусоидальды қозғалыс заңын береді. Қарама-қарсы цилиндрлерді қолдану кезінде кривошипті-кулистік механизм ерекше тиімді. Механизм XX ғасырдың басынан бастап белгілі, бірақ тек соңғы уақытта АҚШ-та қолданылды, ал Германияда XX ғасырдың 90-шы жылдары ғана осындай механизмі бар екі тактілі оппозиттік қозғалтқыштар өндіріле бастады [1]. Демек, кривошиптік-кулистік механизмді қолдануда үлкен тәжірибе жоқ.

Әдіснама

Қозғалысты түрлендірудің кривошипті-кулистік тетігінің оң қасиеттерін [2] және оны қозғалтқыш жасауда пайдаланудың аз тәжірибесін ескере отырып, осындай тетікті зерттеу міндеті қойылды. Бұл үшін зерттеу жүргізілген механизмнің бірлі-жарым модулі жасалды (1-сурет) [3].



Сурет. 1. Кривошипті-кулистік механизмнің тәжірибелік бірлі-жарым модулі

Зерттеу процесінде механизмді есептеу үшін теориялық тәуелділіктер әзірленді, олар синусоидальды заңға бағынады. Сахнаның қозғалыс заңының термодинамикалық көрсеткіштерге әсері бағаланды. Синусоидальды заң қисық шип-шатун механизміне қарағанда термиялық ПӘК шамамен 1% -ға жоғарылатуды қамтамасыз етеді. Сахнаны орындау үшін материал таңдалды. Бағалау болат, алюминий және магний қорытпасын салыстыру кезінде беріктік, қаттылық және масса параметрлері бойынша жүргізілді [1]. Кешенді параметр бойынша болат артықшылыққа ие.

Қозғалатын элементтердің ұлғайған массасы поршеньге күштерді қайта бөлуге әкеледі, ол жұмыс барысының бірінші жартысында және жану қысымының импульстік пайда болу сәтінде поршеньге жиынтық күшін төмендетеді, бірақ жұмыс барысының екінші жартысында газ қысымынан күш азайған кезде инерциялық күш қозғалтқыш білігінде қосымша айналу сәтін жасайды [4]. Бұйымның 4 кг штоктары мен поршендері

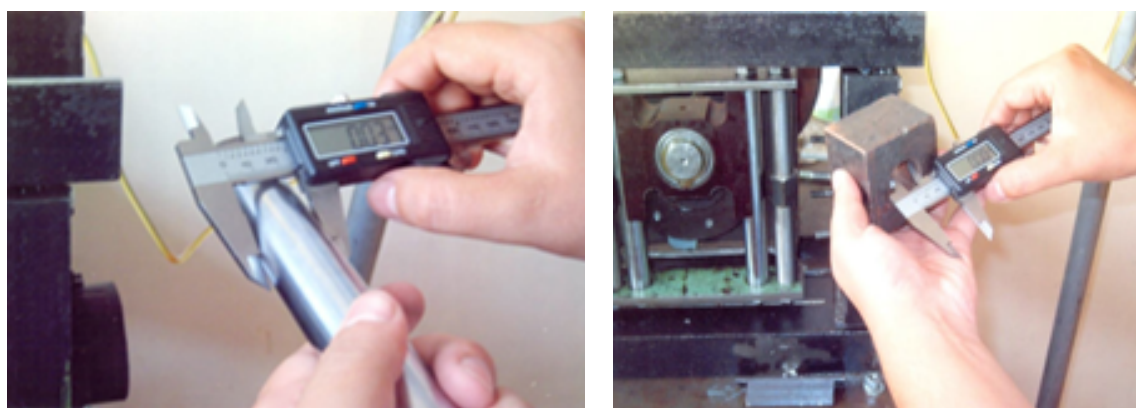
бар кулистің жиынтық массасы кезінде қозғалтқыш үшін есеп жүрістің бірінші жартысында поршенге күштің азаюы 10-15% құрайтынын, ал қозғалыстың екінші фазасында 90 о -тан 180о дейін күш екі еселенетінін көрсетті. Бұл ретте бүкіл жұмыс барысындағы күштің жиынтық сәті іс жүзінде өзгермейді.

Тәжірибелік қондырғыда механизмнің жұмыс қабілеттілігіне, оның сенімділігіне, поршеньді штоктардың жылжымалы мойынтіректерінің жұмысына және штоктарды тығыздау сапасына зерттеу жүргізілді. Жылжымалы тіректер мысталған графит төлкелерде қозғалатын поршеньдердің штоктары болды (2-сурет).



Сурет. 2. Сырғанаудың сызықтық подшипнигі, сол жақта - поршеньді шток (болат, цементтеу), оң жақта - төлке (мысты графит)

300 сағат ішінде механизмді тұрақты айналдыру жиелігінде мәжбүрлеп қалыптастыру кезінде тәжірибелерде шток пен төлке өлшемдерінің өзгеруі байқалмаған (3-сурет).



Сурет. 3. Піспекті шток пен қисық шип-кулистік механизмнің төлкесінің тозуын бақылау

Сызықтық қозғалатын қайтарымды-үдемелі штоктағы қисық иінді-кулистік механизм цилиндрді қозғалтқыштың май картерінен оқшаулауға мүмкіндік береді.

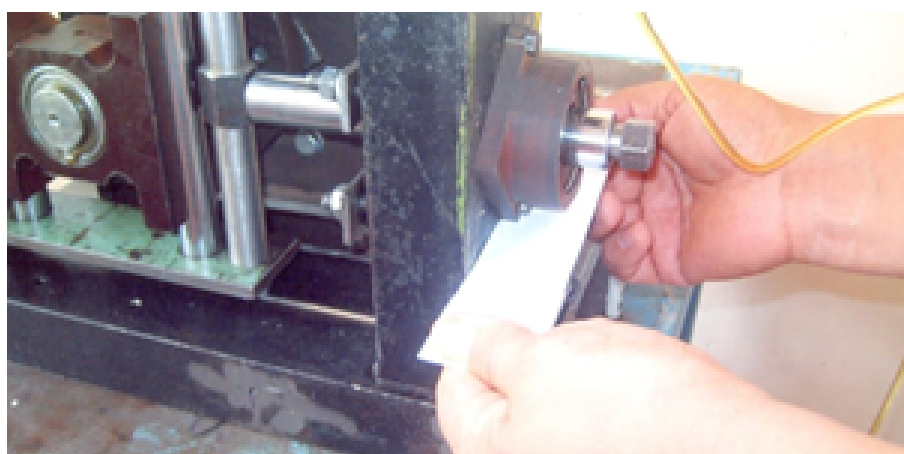
Штоктың ықтимал радиалды шағын ауысуын ескере отырып, штоктың дірілге төзімді тығыздалуы әзірленді.

Тығыздау бір-бірінен жылжитын қималардың орналасуы кезінде штоктың диаметрі бойынша екі қималы сақинаның блогы болып табылады. Сақиналар антифрикциялық материал – фторопласттан жасалған. Сақиналар иілгіш материалдан – резеңкеден жасалған құрсауға салынған және тартқыш сақиналы серіппелермен қысылады. Тығыздағыш элементтердің барлық блогы қатты корпуста орнатылған (4-сурет)



Сурет. 4. Поршеньді шток тығыздағышының сыртқы түрінің көрнісі

Штоктың радиалды шағын ауысуы мен дірілі тығыздау тығыздығын бұзбайды, өйткені бұл орын ауыстырулар резеңкенің серпімділігімен өтеледі. Майды сырғанаудың желілік мойынтірегіннің торабына беру және тығыздаудың сыртқы жағында майдың ағуын бағалау кезінде герметикалығын тексеру жүргізілді (5-сурет).



Сурет. 5. Қағазда майдың ағуын бағалау арқылы штоктың тығыздалуының герметикалығын тексеру

Қозғалысты өзгертудің әзірленген қисық шип-кулистік тетігін қолдану цилиндрдегі поршеннің үйкелісін төмендету мәселесін шешуді талап етеді. Картерден тамшы майын берудің кәдімгі жүйелері не поршень штоктары бойынша майды мәжбүрлі беру бұл жағдайда майдың жоғары шығынына және қозғалтқыштың пайдаланылған газдарында аса уытты компоненттің – бензпиреннің пайда болуына байланысты қолданылмайды. Осыған байланысты сұйық майлаусыз поршеньді тығыздағыштың бірегей конструкциясы әзірленіп, зерттелді [5]. Картерден оқшауланған цилиндрлі поршенді топта поршенді тығыздау қатты майлау - графит негізінде орындалған.

Поршеньді тығыздау поршеньдегі бір ойықта екі сақина болып табылады. Сақиналар қоладан немесе болаттан жасалған. Әрбір сақина сатылы түйісудің көмегімен түйісетін екі жартылай сақинадан жасалған (6-сурет) [6].



Сурет. 6. Поршеньді тығыздаудың компрессиялық сақиналары, а – бір толық сақинаның екі жартылай сақинасы, б – жиынтық поршеньді тығыздауға арналған жартылай сақинасы

Нәтижелер мен талқылау Жартылай сақиналы құлыптар бір-біріне қатысты 90о жылжытылған, сондықтан екі сақинаның пакеті герметикалық жанасуды құрайды. Сақиналардың сыртқы цилиндрлік бетінде графитпен толтырылған сақиналы беттіктерде ойық бар [6,7]. Антифрикциялық материалдың құрамы – 75% графит және 25% байланыстырушы сұйық әйнекті желім таңдалды. Ойықтарды толтыруға арналған материал графитпен толтырылған сақиналар сияқты беріктікке, термотөзгіштікке тексерілді. 900оС кезінде сақиналар жұмыс қабілеттілігін сақтайды.

Есептеулерге сәйкес әзірленген сақиналардан жасалған тығыздауды қолданумен үйкеліс шығындары майлаумен стандартты тығыздаудан аз. Тәжірибелерде тәжірибелік сақиналар жиынтығының жылжуының күші стандартты тығыздау үшін күшінің 58% -ын құрады.

Қозғалтқыштағы тығыздауды сынау үшін УД-2М қозғалтқышы негізінде тәжірибелік қондырғы орындалды [6]. Бұл үшін крейцкопф торабы орындалды, бұл қисық шип-кулистік тетікті қолдану кезінде туындайтын жағдайларда тығыздауларды сынауға мүмкіндік берді (7-сурет).



Сурет. 7. Жаңғыртылған қозғалтқыш базасында құрғақ поршеньді тығыздауды зерттеуге арналған тәжірибелік стенд УД-2М

Қозғалтқыштағы компрессияны тексеру әзірленген сақиналар компрессияны оның паспорттық мәні деңгейінде қамтамасыз ететінін көрсетті.

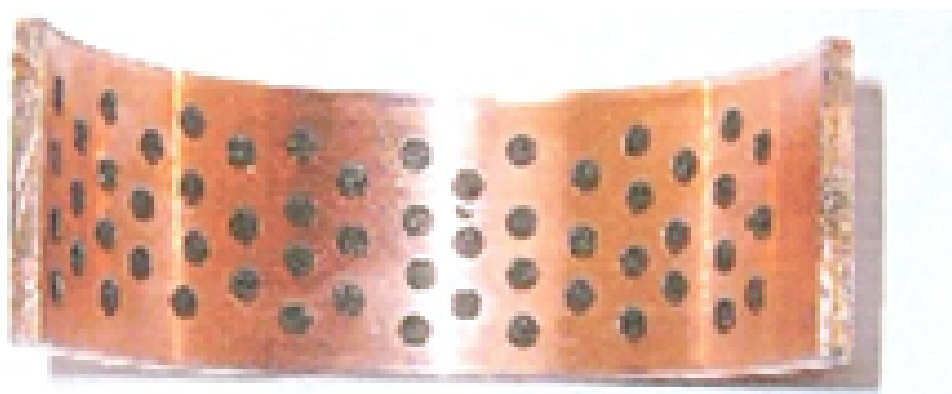
Тығыздағыш сақиналардың тозу қарқындылығын зерттеуде белгіленген режимде 300 мото-сағаттан астам поршеньді тығыздау торабының ресурсы алынды. Бұл ретте стандартты тығыздау жұмысынан айырмашылығы қозғалтқыштың үнемділік көрсеткіштері өзгермейді, өйткені герметикалығы сақиналардың тозуына қарамастан тұрақты деңгейде ұсталады.

Қисық тісті-кулистік кинематикалық механизмде кулистік тастың ішіндегі қисық тісті подшипник импульстік жүктеменің ауыр жағдайларында жұмыс істейді.

Сырғанау мойынтіректеріндегі үйкеліс және тозу процестерін зерттеу айқындаушы факторлардың бірі фрикциялық жанасу температурасы болып табылатынын көрсетті. Осыған байланысты үйкеліс торабындағы материалдың жылу өткізгіштігінің маңызы зор.

Қазіргі уақытта қозғалтқыштардың сырғанау мойынтіректерінде алюминий-қалайы қорытпасы бар жапсырмалар қолданылады. Осы қорытпа мен мыстың жылу физикалық қасиеттерін салыстыру мысты қолдану мойынтіректердің сапалық көрсеткіштерін арттырып, тозу қарқынын төмендетіп және ресурсты ұлғайтып отырғанын көрсетті.

Бұдан әрі ұялы әдіспен сырғу бетіне графитті енгізе отырып, мойынтіректің конструкциясы әзірленді. Ол үшін мыс жапсырмада 3x3 мм тесіктер бұрғыланып, олар байланыстырушы сұйық әйнекті желім графит массасымен толтырылған (8-сурет).



Сурет. 8. Мыстан жасалған жылжымалы мойынтіректің графитті енгізумен тәжірибелік төсеме

Үйкеліс машинасында стандартты мойынтірек пен болатты біліктегі мыс мойынтіректің бар және мысты мойынтірекке графитті енгізілген сырғанау мойынтіректерінің әрқайсына салыстырмалы жеке тәжірибелері жүргізілді [7]. Мыс төсемесі белгіленген режим кезінде сырғанау мойынтірегінің ресурсының бірнеше есе ұзақтылығы анықталды.

Болатты біліктің мойындығын алдын ала фрикциялық мысталудың арқасында болат біліктің және мыс мойынтіректің жұбымен салыстырғанда тозу қарқындылығын 40% -ға төмендетеді.

Есептеу режимінде графиті бар жылжымалы мойынтіректің графит көрінісінсіз кәдімгі қалыпта жұмыс істейді. Бірақ шекті үйкеліс туындаған кезде экстремалды режимде графитті төсеменің тозу қарқыны таза мыс төсемесімен салыстырғанда тозу шамасының қорлық төзімділігі 40% жуығын құрады.

Осылайша, әлемдік тәжірибе сырғанау мойынтіректері саласында сырғанау мойынтіректерінің ресурсын ұлғайтуды қамтамасыз ететін іштен жану қозғалтқыштары үшін сапалық көрсеткіштердің едәуір артуы мүмкін екенін көрсетеді. Бірақ бұған Қазақстанда тек жеке әзірлемелер негізінде ғана қол жеткізуге болады.

Қорытынды. Екі тактілі қозғалтқыш базасында құрастыру үшін кривошипті-кулисті кинематикалық механизмді қолдану арқылы жұмыстар кешені орындалды. Шатунсыз қисық шипті-кулисалық механизм екі тактілі екі цилиндрлі қозғалтқышты қарсы фазада жұмыс істейтін екі кулистік-поршеньдік модуль түрінде құрастыруға мүмкіндік береді. Бір мезгілде диагональды орналасқан цилиндрлердегі өтетін тактілер қозғалтқыштың теңгерімділігін қамтамасыз етеді, сондай-ақ үш тіректі иінді біліктің соңғы домалату мойынтіректерімен және бір орташа сырғанау мойынтіректерімен қолданылуын қамтамасыз етеді.

Нормативтік талаптар мен МемСТ-қа сәйкес цилиндрлік-поршеньдік топтың және сырғанаудың мыс-графиттік мойынтіректерінің таңдалған үйкеліс жұптарының үйкелу және тозу заңдылықтарын зерттеу. Бірінші әдіс бойынша жұмысты бағалаудың алынған нәтижесі (салмақ бірліктеріндегі тозу) цилиндрлік-поршеньдік топтарының жұмыс

істеу жағдайларында қарастырылған материалдардың қасиеттерін, оның ішінде машина жасауда антифрикциялық элементтерді жасау үшін композиттік материалдардың қасиеттерін зерттеудің ғылыми негізіне қорытындыланды.

Сақиналардың антифрикциялық белдігінің таңдалған материалдары жоғары беріктікті және термиялық төзімділікті қамтамасыз етеді. Тәжірибелік мотор стендінде әзірленген тығыздағыштың жұмыс қабілеттілігі расталды және оның ресурсын бағалау үшін сандық сипаттамалар алынды. Бұл ретте мұндай элементтерді жоғары сапалық көрсеткіштері бар қозғалтқыштарды пайдаланудың қазіргі заманғы шарттарында жаңа қозғалтқыштарды өндіру үшін қолдануға мүмкіндік береді.

Авторлардың қосқан үлесі:

М.К. Куанышев, А.К. Каукаров, Н.С. Сауханов – тұжырымдама, әдістеме, ресурстар, мәліметтер жинау.

А.Ж. Мурзағалиев, Ғ.Б. Бақыт – талдау, визуализация, интерпретация, жазу, өңдеу, қаржыландыру

Әдебиеттер тізімі

1. Мищенко, Н.И. Нетрадиционные малоразмерные двигатели внутреннего сгорания Теория, разработка и испытание нетрадиционных двигателей внутреннего сгорания [Текст] / Н.И. Мищенко. – Донецк: Лебедь, 1998. – 228 с.

2. Собачкин А.В., Исследование жаростойкости покрытия Ti-Al-Nb на модельных образцах поршневого алюминиевого сплава / А.В. Собачкин, М. В. Логинова, В. И. Яковлев и др. // Ползуновский вестник. - №3, 2020. - С.88-92. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.016.

3. Исследование кривошипно-кулисного механизма преобразования движения [Текст] / В.Г. Некрасов, М.К. Куанышев, А.Ж.Мурзағалиев, Т.М. Мендебаев, А.К. Мухтаров // Научно-технический прогресс, техника, технология и образование: сб. – Ак-тобе. – 2010. – С. 344 – 348.

4. Некрасов, В.Г. Масса поршня и ее влияние на процессы в двигателе [Текст] / В.Г. Некрасов // Автомобильная промышленность. – 2006. – № 2. – С. 10 – 12.

5. 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 Volume 17 Issue 3. DOI: 10.20858/tp.2022.17.3.07. pp.99-111.

6. Исследование сухого уплотнения поршня в цилиндре [Текст] / А.К.Каукаров, А.Ж. Мурзағалиев, В.Г. Некрасов, Т.М. Мендебаев // Вестник сельскохозяйственной науки Казахстана. – Алматы, 2010. –№ 6. – С. 54 – 55. 18.

7. Kuanyshev M., The improvement of friction bearing manufacturing technology by using copper alloy JTP/ M. Kuanyshev, B. Nuralin, B. Salimov, A. Kaukarov и др.// - International Journal of Advanced Manufacturing Technology of plasticity, JAN 2017, Tom: 88 Release:1-4, pp. 317-324.

М.К. Куанышев¹, А.К. Каукаров^{1*}, Н.С. Сауханов¹, А.Ж. Мурзагалиев¹, Ғ.Б. Бақыт²

¹Актюбинский региональный университет им. К.Жубанова, Актөбе, Қазақстан

²Академия логистики и транспорта, Алматы, Қазақстан

Экспериментальные исследования в области создания двухтактного двигателя в сходственных условиях использования

Аннотация. В статье применительно к сходственным условиям использования и о создании конкурентноспособного двухтактного двигателя. В настоящее время имеются предпосылки для создания эффективного двухтактного двигателя, как прямоточная продувка, клапанно-щелевая система газораспределения при многоклапанном механизме, гидравлическое управление клапанами, дизельный цикл при высокой степени сжатия и др. Для реализации комплекса перспективных технических решений требуется конструктивная база, на основе которой может быть скомпонован двухтактный двигатель. В качестве таковой выбран кривошипно-кулисный кинематический механизм преобразования движения. Механизм разгружает поршень от боковых сил, позволяет изолировать цилиндр от масляного картера, используя подпоршневой объем в качестве продувочного насоса. Это потребовало разработки и исследования цилиндропоршневой группы на основе твердой смазки. Выполнено также совершенствование скользящего подшипника с улучшенными качественными показателями на основе применения теплопроводного и антифрикционного материала меди и графита.

Ключевые слова: двухтактный двигатель, кривошипно-кулисный механизм, твердая смазка, подшипники скольжения, антифрикционный материал, графит.

М.К. Kuanyshev¹, А.К. Kaukarov^{1*}, N.S. Sauchanov¹, A.Zh. Murzagaliev¹, G.B. Bakyt²

¹Aktobe Regional University K.Zhubanov, Aktobe, Kazakhstan

²Academy of logistics and transport, Almaty, Kazakhstan

Experimental research in the field of creation of a two-stroke engine under similar conditions of use

Abstract. The article applies to similar conditions of use and the creation of a competitive two-stroke engine. Currently, there are prerequisites for creating an effective two-stroke engine, such as direct-flow scavenging, a valve-slotted gas distribution system with a multi-valve mechanism, hydraulic valve control, a diesel cycle with a high compression ratio, etc. To implement a set of promising technical solutions, a design basis is required, on the basis of which a two-stroke engine can be configured. As such, a crank-yoke kinematic mechanism for converting motion was chosen. The mechanism unloads the piston from lateral forces and allows the cylinder to be isolated from the oil sump, using the sub-piston volume as a purge pump. This required the development and research of a cylinder-piston group based on solid lubricant. The sliding bearing has also been improved with improved quality indicators based on the use of thermally conductive and antifriction materials of copper and graphite..

Key words: two-stroke engine, crankshaft slip mechanism, hard lubrication, sliding bearing, graphite.

References

1. Mishchenko, N.I. The Theory of intraregional movement, development and development of intraregional movement - Lei intraregional movement [text] / N. I. Mishchenko. - Donetsk: Lebed, 1998 – - 228 P.
2. Sobachkin A.V., research on the spread of the word Ti-Al-NB in modern language / A.V. Sobachkin , M. V. Loginova, V. I. Yakovlev and Dr. // Russian Vestnik. - NO. 3, 2020. - PP. 88-92. DOI: 10.25712/ASTU.2072-8921.2020.03.016.
3. research of the crank-cooling mechanism of preobrasov [text] / V. G. Nekrasov, M. K. Kuanyshev, A. zh. Murzagaliyev, T. M. Mendebayev, A. K. Mukhtarov // scientific and technical progress, Technology, Technology and education: sat. - AK-Tobe. – 2010. - p. 344-348.
4. Nekrasov, V. G. mass piston and its connection to the engine [text] / V. G. Nekrasov // automotive industry. – 2006. - № 2. - p. 10 – 12.
5. Nuralin B., Kuanyshev M., Murzagaliyev A., Kaukarov A., Utebaev I.: The report of the corresponding main indicators of the water supply of the cylinder transport group of engines of the Internal Revenue Service with the use of their own smears transport problems 2022 Volume 17 Issue 3. doi: 10.20858/TP.2022.17.3.07. PP.99-111.
6. exploration of the water supply of the piston in the cylinder [text] / Kaukarov A. K., Murzagaliyev A. zh., Nekrasov V. G., Mendebayev T. M. // Bulletin of agricultural science of Kazakhstan. - Almaty, 2010. - № 6. - P. 54 – 55. 18.
7. Kuanyshev M., improving the technology of training bearings for the use of the medical splava JTP / Kuanyshev M., Nuralin B., Salimov B., Kaukarov A. and Dr.// - International Journal of technological production of plastic materials, January 2017, volume: 88, issue: 1-4, pp. 317-324.

Авторлар туралы мәлімет:

Қуанышев Мурат Құлынтаевич – канд. техн. наук, ассоциированный профессор. каф. «Транспортная техника, организация перевозок и стротельства» АРУ им. К. Жубанова. 87013886219. e-mail: k-murat-57@mail.ru.

Каукаров Алтынбек Кубашевич – ст. преподаватель кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и стротельства» АРУ им. К. Жубанова, 87016541115. e-mail: altynbek-79@mail.ru.

Сауханов Нургазы Сергазиевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и стротельства» АРУ им. К. Жубанова, 87013869478. e-mail: nurgazy.saukhanov@mail.ru.

Мурзагалиев Ахмет Жакиевич – канд. техн. наук, доцент кафедры «Транспортная техника, организация перевозок и стротельства» АРУ им. К. Жубанова, 87773121058. e-mail: akhmet-zhakiyevich@mail.ru

Бақыт Ғабит Бақытұлы – PhD, ассоциированный профессор кафедры «Подвижной состав» Академии логистики и транспорта, 87012228876. e-mail: g.bakyt@alt.edu.kz

Kuanyshev Murat Kulyntaevich – candidate of technical sciences, associate professor of the Department "Transport Equipment, Organization of Transportation and Construction", NAO ARU named after K.Zhubanov. Aktobe, Br.Zhubanov str., 263. 87013886219. k.murat-57@mail.ru.

Kaukarov Altynbek Kubashevich – Master, senior lecturer of the Department "Transport Equipment, Organization of Transportation and Construction", NAO ARU named after K.Zhubanov. Aktobe, Br.Zhubanov str., 263. 87016541115. altynbek-79@mail.ru.

Saukhanov Nurgazy Sergazievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Engineering, Organization of Transportation and Construction of the ARU named after K. Zhubanov, 87013869478. e-mail: nurgazy.saukhanov@mail.ru.

Murzagaliev Akhmet Zhakievich – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor of the Department of Transport Engineering, Organization of Transportation and Construction of the ARU named after K. Zhubanov, 87773121058. e-mail: akhmet-zhakiyevich@mail.ru

Bakyt Gabit Bakytuly – PhD, Associate Professor of the Rolling Stock Department of the Academy of Logistics and Transport, 87012228876. e-mail: g.bakyt@alt.edu.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/>).



IRSTI 55.09.81

<https://doi.org/10.32523/2616-7263-2024-147-2-231-244>

Article

Preparation of AlMgSi1 (6082) aluminum alloy for the study of mechanical and physico-chemical properties in the rolling process

Rail Sovetbayev¹, Yerik Nugman¹, Yerzhan Shayakhmetov*²,
Anna Kawalek³

¹K.I. Satbayev Kazakh National Research Technological University, Almaty, Kazakhstan

²Shakarim University of Semey city, Semey, Kazakhstan

³Czestochowa University of Technology, Czestochowa, Poland

(E-mail: rsovetbayev@mail.ru)

Abstract. The study is devoted to the preparation of the AlMgSi1 (6082) aluminum alloy for the study of its mechanical and physico-chemical properties under rolling conditions. The purpose of the work is to develop a methodology for preparing an alloy that provides reproducible analysis of its properties. The main directions include the study of rheological and plastic properties of the material, as well as thermal effects during deformation

The scientific significance of the work lies in the analysis of the effect of heat treatment and deformation parameters on the plastic fluidity and corrosion resistance of the alloy. The practical significance lies in improving the quality of materials for various industrial applications. The methodology included experiments with heat treatment and rolling, analysis of the microstructure and mechanical properties of the alloy. The tests were carried out on samples at different temperatures and strain rates using the STD 812 torsion plastomer.

The results showed that the plasticizing stress of the alloy increases with deformation at low temperatures and decreases at high temperatures. The conclusions confirm the significant influence of temperature and strain rate on the properties of the alloy.

Keywords: rolling process, aluminum alloy, tension, deformation, emission capacity, plastic fluidity.

Received 03.06.2024 Revised 21.06.2024 Accepted 22.06.2024 Available online 30.06.2024

* the corresponding author

Introduction

For the correct acceptance of boundary conditions in numerical modeling and the correct development of new or modification of existing technologies for rolling round rods, it is necessary to know the relationship between the value of the plasticizing stress and the deformation and temperature parameters of the alloy under study. The properties of the deformable material have a significant impact, among other things, on its plastic fluidity in the rolling basin, therefore, in order to increase the accuracy of the results of computer modeling of the rolling process, it was necessary to use real curves of plastic fluidity of the material under study. Therefore, the study of the rheological, plastic properties of the material and the determination of the thermal effect during the deformation of the AlMgSi1 aluminum alloy allows us to further increase the reliability of the rolling process simulation [1].

The methodology

Based on the analysis of the technology of rolling bars in a three-roll inclined mill, it was found that this process is characterized by a wide range of changes in deformation parameters and temperature. The average deformation rate under rolling conditions can reach 10 s⁻¹, and the total actual deformation is about 4.

Therefore, it was necessary to develop real plastic yield curves for the material under study for the entire range of changes in temperature and deformation parameters.

This part of the study also includes the conversion of the results obtained in the form of an analytical formula into a form that can be entered into the database of materials in the Rheology program [2].

These tests were carried out at the Institute of Plastic Processing and Safety Engineering (Czestochowa, Poland) during the doctoral student's scientific internship. The hardening curves of the AlMgSi1 aluminum alloy were determined based on torsion tests using the STD 812 – Thermoanalyse GmbH torsion plastomer (Fig. 1), and the main technical parameters of the device are presented in Table 1.

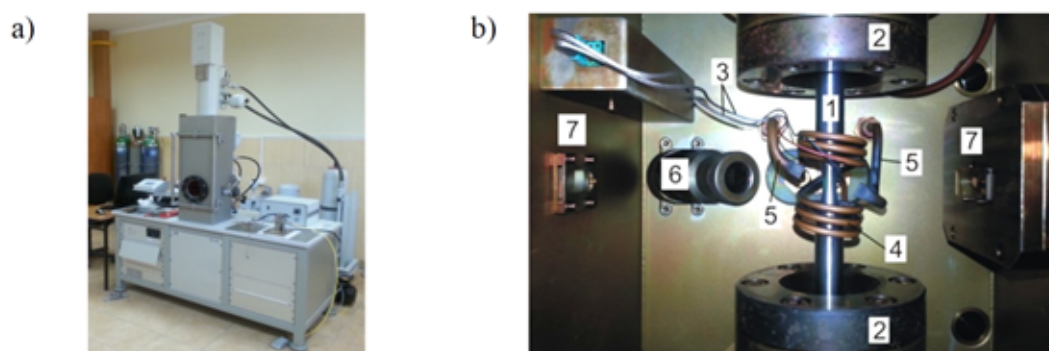


Figure 1. Torsion plastomer STD 812: a) – general view; b) – working chamber with a fixed sample
1 – Sample, 2 – fixing cartridges, 3 – S-type thermocouples, 4-inductor, 5-cooling system nozzles,
6-pyrometer, 7-laser measurement sensors sample diameter

Table 1. The main parameters of the STD 812 torsion plastometer

Heating principle:	Induction
Maximum test temperature:	1500 °C
Heating and cooling speed:	up to 100K / s
Minimum time between successive deformations:	60 ms
Atmosphere:	clearance 10 ⁻⁴ bar, inert gas, air
Torsion	
Rotation speed:	up to 500 rpm
Number of revolutions:	up to 30
Torque:	up to 50 Nm
Deformation speed:	up to 60 s ⁻¹
Stretching and compressing	
Changing the length:	about 15 mm
Deformation speed:	up to 30 mm / s
Force during deformation:	up to 25 kN
Deformation speed:	up to 1.0 s ⁻¹
Actual deformation:	dependent on sample size
The device allows twisting with simultaneous stretching or compression	

Dependence (1) was used to calculate the amount of actual deformation during twisting in the torsion plastometer control software, whereas the actual deformation rate was determined by dependence (2). The plasticizing stress is determined by the formula (3):

$$\varepsilon = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot N}{\sqrt{3} \cdot L} \quad (1)$$

$$\dot{\varepsilon} = \frac{2 \cdot \pi \cdot r \cdot \dot{N}}{\sqrt{3} \cdot L} \quad (2)$$

$$\sigma_p = \frac{\sqrt{3} \cdot 3M}{2\pi r^3} \quad (3)$$

where:

r – the radius of the sample;

L – the length of the sample;

N – the number of twists (revolutions) of the sample;

\dot{N} – torsion speed (rotation speed);

M – the torque.

For studies related to the determination of the hardening curves of the AlMgSi1 aluminum alloy, samples with a cylindrical working part with a diameter of 6 mm and a length of 10 mm were used (Fig. 2).

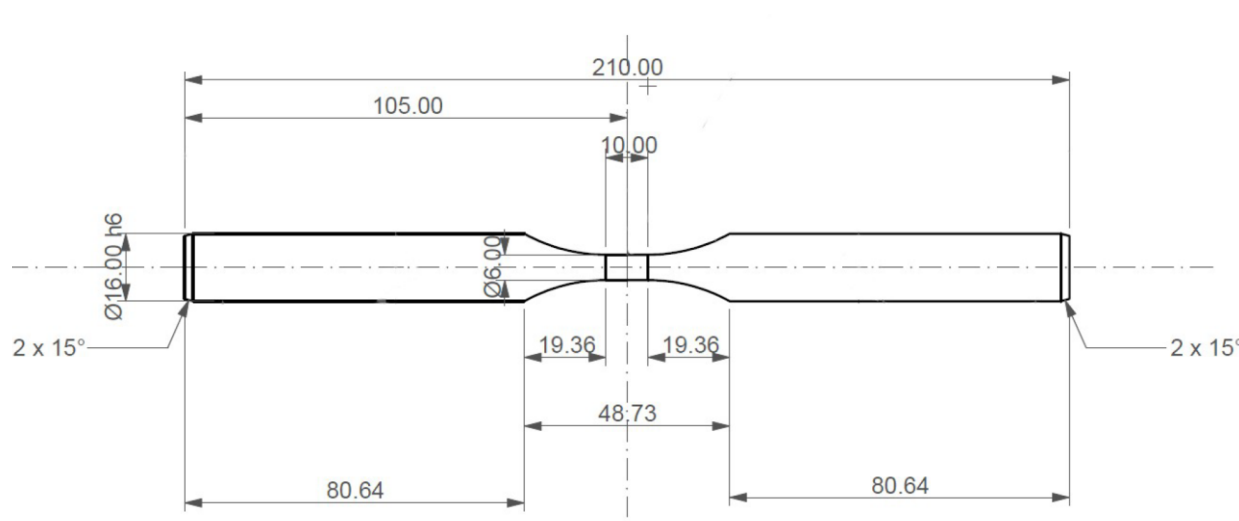


Figure 2. Sample of the plastometric test for the STD 812 torsion Plastomer

The tests were carried out at temperatures of 150, 200, 250, 300 and 350 °C for deformation rates of 0.1; 1.0 and 10.0 s⁻¹. The samples were deformed to failure, whereas approximations were performed for the actual deformation $\varepsilon=4$.

For practical use of plastometric studies and to obtain a mathematical relationship between the value of the plasticizing stress σ_p [MPa] and the deformation parameters (t , ε , $\dot{\varepsilon}$), these results were approximated by the Hansel-Spittel equation:

$$\sigma_p = m_1 \cdot \varepsilon^{m_2} \left(\frac{m_3}{\varepsilon} \right) \exp(m_4 \cdot \varepsilon) (1 + \varepsilon)^{m_5 \cdot t} \cdot \dot{\varepsilon}^{m_6} \cdot \dot{\varepsilon}^{m_7 \cdot t} \cdot t^{m_8} \exp(m_9 \cdot t) \quad (4)$$

where:

ε – the actual deformation, s⁻¹;

$\dot{\varepsilon}$ – the deformation rate, s⁻¹;

t – the temperature, °C;

$m_1 \div m_9$ – coefficients depending on the grade of the studied material.

Rheology software was used for statistical processing of the obtained results, where it is possible to introduce a large number of functions approximating plasticizing stress, depending on strain, strain rate and temperature. This allows you to determine the coefficients of the approximating function specified by the user, or automatically search for the most accurate approximating function in the existing database of functions [3].

Findings/Discussions

The obtained values of the parameters determining the approximating function (Fig.3), which were used during the numerically simulated rolling mill process in a three-roll inclined rolling mill, are shown in Table 2.

Table 2. Parameters of the function (Fig. 3) approximating the results of plastometric tests of AlMgSi1 aluminum alloy

m_1	m_2	m_3	m_4	m_5	m_6	m_7	m_8	m_9	medium pale
1,36610	0,31149	0,00018	0,06608	-0,00270	-0,09845	0,00054	1,32965	-0,00908	0,80430

The results of the approximation of the reinforcement curves (dotted lines) and experimental data (solid lines) for the studied aluminum alloy are shown in Figures 3-7.

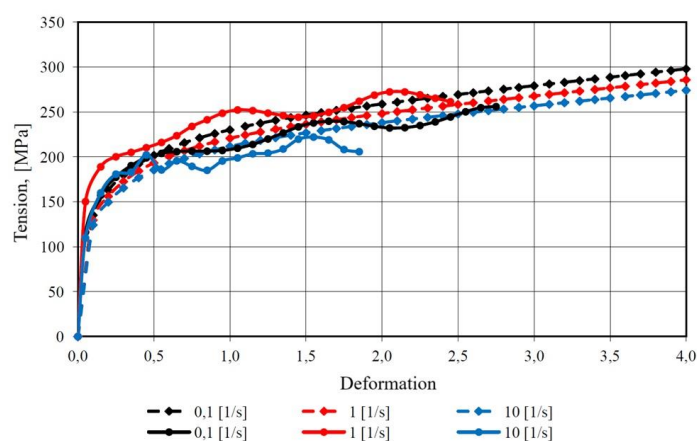


Figure 3. Hardening curves of AlMgSi1 aluminum alloy deformed at a temperature of 150 °C with deformation rates of 0.1; 1.0 and 10.0 s⁻¹

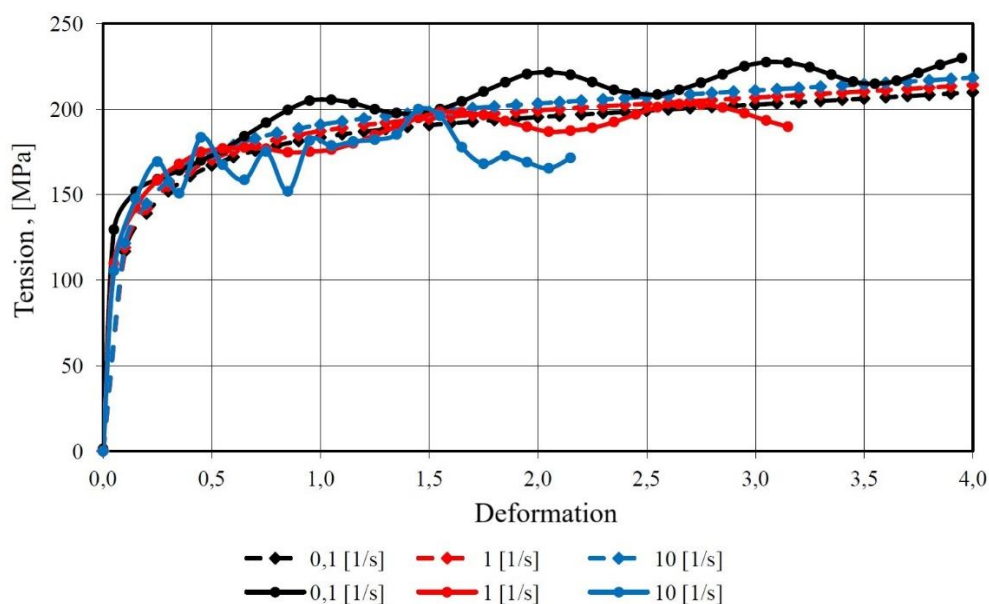


Figure 4. Hardening curves of AlMgSi1 aluminum alloy deformed at a temperature of 200 °C with deformation rates of 0.1; 1.0 and 10.0 s⁻¹

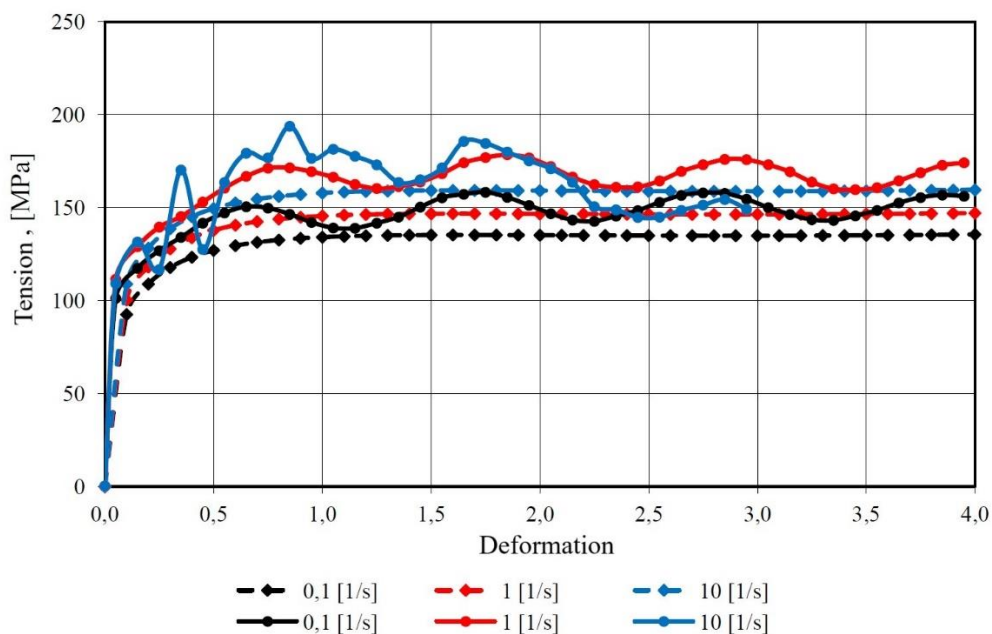


Figure 5. Hardening curves of AlMgSi1 aluminum alloy deformed at a temperature of 250 °C with deformation rates of 0.1; 1.0 and 10.0 s⁻¹

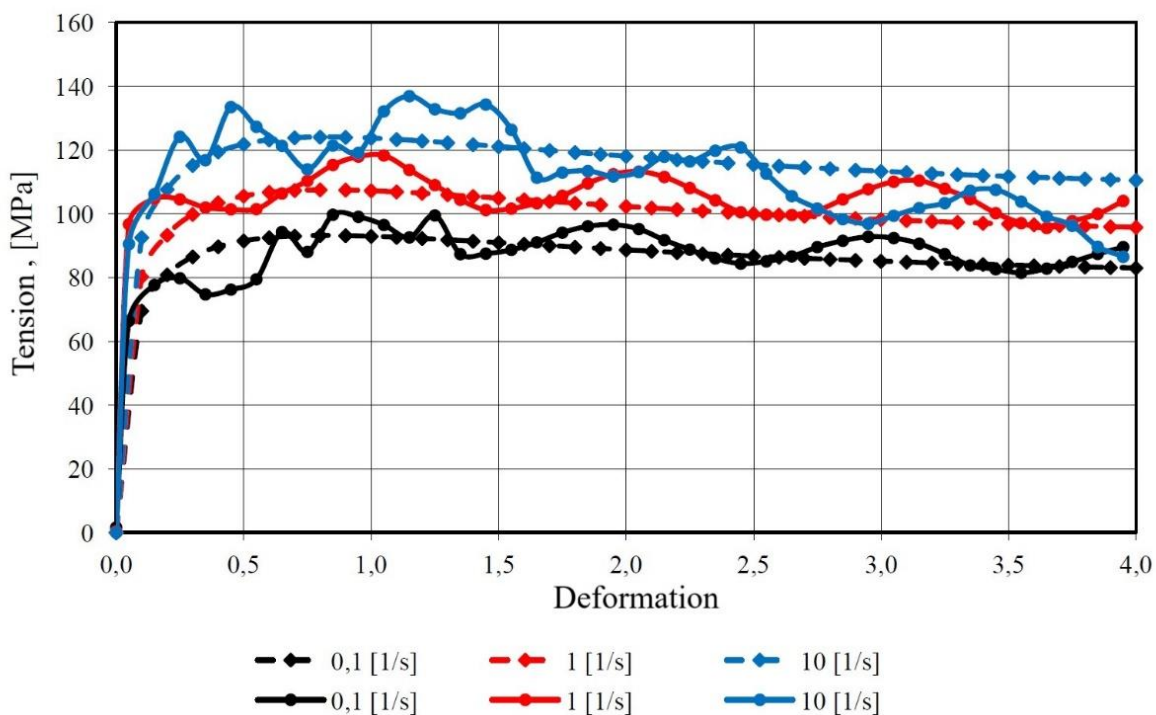


Figure 6. Hardening curves of AlMgSi1 aluminum alloy deformed at a temperature of 300 °C with deformation rates of 0.1; 1.0 and 10.0 s⁻¹

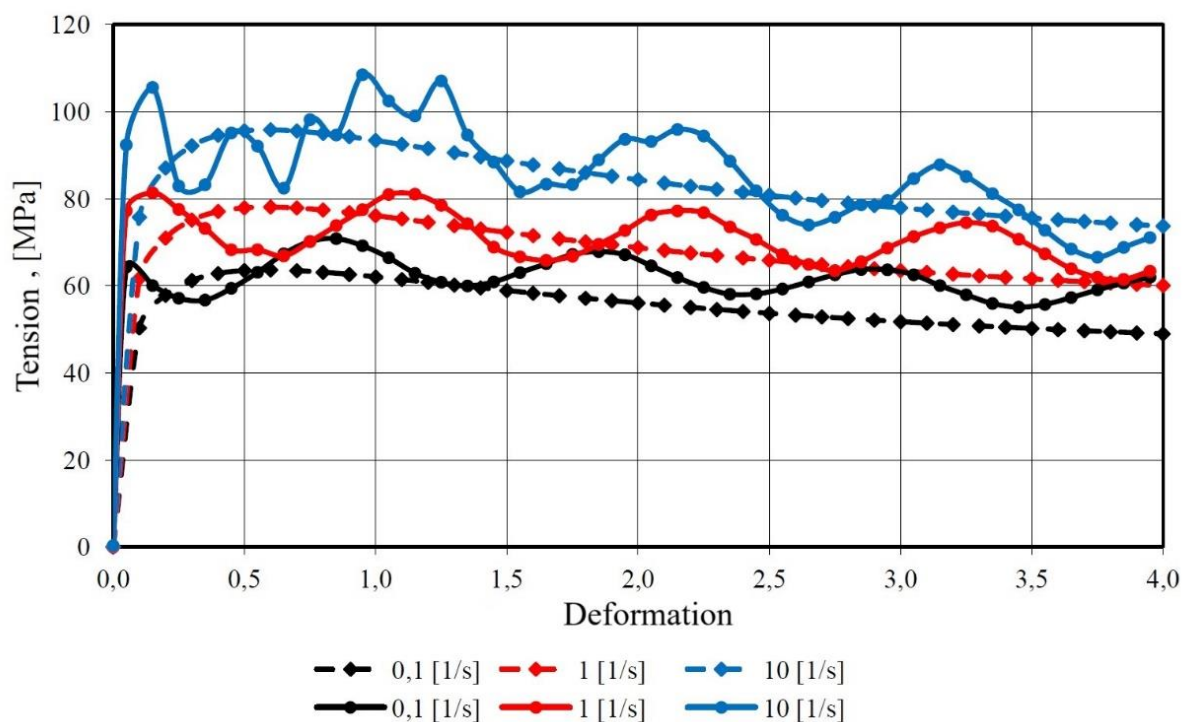


Figure 7. Hardening curves of AlMgSi1 aluminum alloy deformed at a temperature of 350 °C with deformation rates of 0.1; 1.0 and 10.0 s⁻¹

Based on the conducted studies, it can be concluded that there is a great influence of temperature and deformation parameters on the deformation value of the plasticizing aluminum alloy AlMgSi1 [4].

Analyzing the effect of the sample temperature on the value of the plasticizing stress, it can be seen that for the same deformation rates, the plasticizing stress of the alloy under study reaches the highest values at a temperature of 150 °C, and with an increase in the sample temperature, the value of the plasticizing stress for the same deformation rates decreases. For the corresponding deformation rates, the lowest values of the plasticizing stress of the alloy under study occurred at a temperature of 350 °C [5,6].

From the analysis of the waveform of the real and approximated hardening curves of the studied aluminum alloy, it follows that in the studied range of deformation parameters, a large agreement was obtained between the actual values of the plasticizing stress and the values obtained as a result of approximation.

Figure 8 shows the dependences of the ultimate deformation of the AlMgSi1 alloy as a function of temperature and deformation rate.

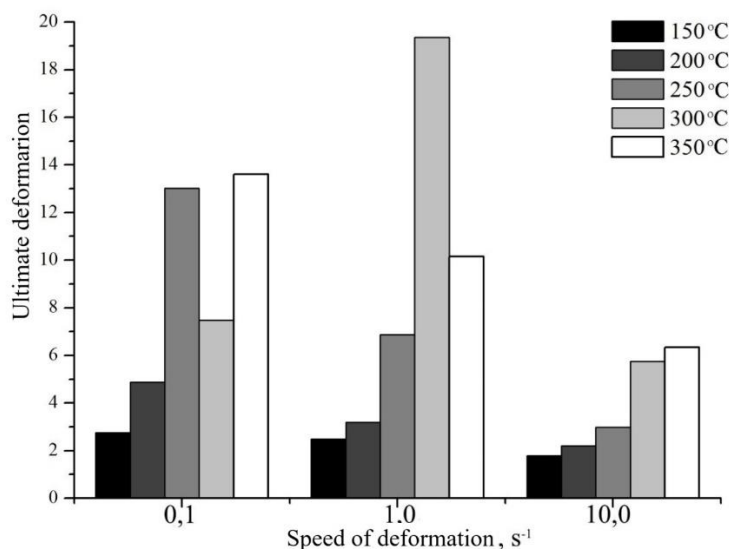


Figure 8. Dependence of the ultimate deformation of the AlMgSi1 aluminum alloy on changes in temperature and deformation rate

From the data shown in Figure 8, it follows that, with the exception of the case of deformation of samples at a temperature of 300 °C, with an increase in the deformation rate at the same temperature, the values of the limiting deformation decrease. The highest value of the ultimate deformation occurs at temperatures of 250 and 300 °C and at a deformation rate of 0.1 s⁻¹.

On the contrary, at a temperature of 300 °C, the maximum limit deformation (~ 20) occurs at a deformation rate of 1 s⁻¹. This behavior of the material at this temperature may be the result of microstructural changes [7]. The results of dilatometric studies show that at temperatures above 279 °C in this structural state, a change in the shape of the curve is observed, reflecting differences in the length of the sample, which indicates the course of dissolution of intermetallic compounds.

Determination of the emission capacity of AlMgSi1 aluminum alloy

One of the key parameters for the correct determination of the measured temperature of the test object using a thermal imaging camera is the precise determination of its emissivity, which was determined experimentally for the AlMgSi1 aluminum alloy.

A description of the methods for determining the emissivity can be found, among other things, in [8].

The method presented in the paper was used to determine the emissivity of the tested aluminum alloy. It consists in determining the emissivity of the object under study based on a contact temperature measurement. According to this method, it is necessary to set such a value of the emissivity in the thermal imaging camera so that the temperature of the material determined by the camera is the same as that determined by the contact method. The value of the emissivity is then equal to the emissivity of the surface of the material under study.

For studies related to the determination of the emission capacity of the AlMgSi1 aluminum alloy, the STD 812 torsion Plastomer from Thermoanalyse GmbH and the ThermoCAM SC640 thermal imaging camera (Fig. 9) from FLIR Systems were used, which provides:

- excellent image quality saved in JPEG format with complete radiometric data;
- accurate non-contact temperature measurement from -40 °C to +2000°C;
- image in visible and infrared light;
- the ability to enter text and voice notes;
- Bluetooth and IRDA wireless communication;
- autofocus;
- fast image transfer to a computer;
- software for creating professional reports on measurements.



Figure 9. Thermal imaging camera ThermoCAM SC640

Samples with a working part diameter of 6 mm and a length of 10 mm were used for testing. Holes were made in the side wall of the samples, into which two K-type thermocouples were placed just below the surface of the samples. The samples were then placed in the chamber of the STD 812 torsion plastomer and heated to the appropriate temperatures from 150 to 350 °C. After reaching the desired temperature in the entire volume of samples, the emission value in the thermal imaging camera was adjusted so that it indicated the same temperature as with thermocouples. Thermacam Researcher Professional software is used to process the results obtained [9,10].

An example of a thermogram with object parameters is shown in Figure 10.

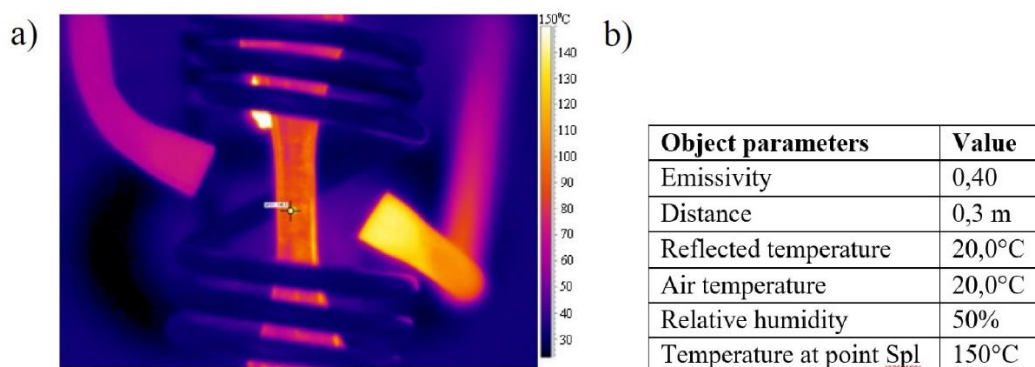


Figure 10. Temperature distribution in the sample recorded at a temperature of 150 °C:
a) thermogram, b) object parameters

Figure 11 shows a graph of changes in the emission capacity of the tested aluminum alloy for a temperature range of 150÷350°C.

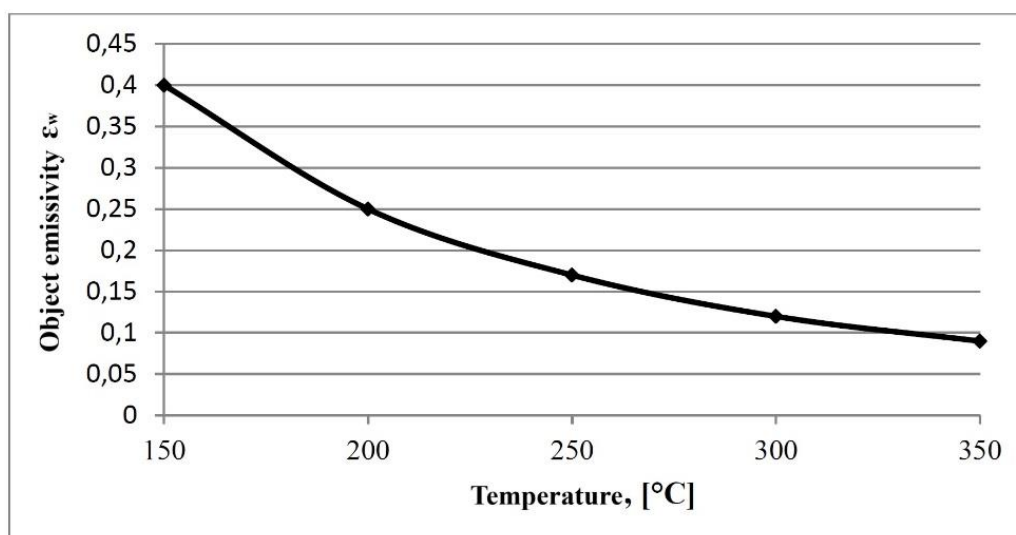


Figure 11. Changes in the emission capacity of AlMgSi1 aluminum alloy in the temperature range 150÷350 °C

Conclusion

Based on the obtained research results, it can be concluded that the nature of the flow curves of the AlMgSi1 plastic alloy is similar for the entire range of studies conducted. From the analysis of the data presented in Figures 3-7, it follows that with increasing deformation, the value of the plasticizing stress of the studied aluminum alloy increases monotonously for temperatures of 150 and 200 °C and takes a constant value for a temperature of 250 °C. At temperatures of 300 and 350 °C, with strain values up to 0.5, the value of the plasticizing stress increases, and with large deformations it monotonously decreases.

From the conducted plastimetric studies of the AlMgSi1 alloy, it follows that there is a significant influence of deformation, temperature and deformation rate on the value of its plasticizing stress.

With an increase in the deformation rate, a simultaneous increase in the value of the plasticizing stress occurs, while due to an increase in the temperature of the alloy under study, a decrease in this stress is observed.

Based on the conducted studies related to the determination of the emission capacity of the aluminum alloy under study, it was found that in the temperature range of 150-150 °C, its emission capacity varies in the range of $0.40 \div 0.08$. As the temperature increases, the value of the emission capacity decreases (Fig. 11).

The contribution of the authors:

Rail Sovetbayev – consent to be responsible for all aspects of the work, proper study and resolution of issues related to the reliability of data or the integrity of all parts of the article;

Yerik Nugman – approval of the final version of the article for publication;

Yerzhan Shayakhmetov – significant contribution to the concept or design of the work; collection, analysis or interpretation of the results of the work;

Anna Kawalek – writing the text and/or critical revision of its content.

References

1. Zhang, J., Xu, Y., Wang, Z., Zhang, L. & Xu, M. Effect of preheating temperature on microstructure and mechanical properties of solid-state recycled AA5083 aluminum alloy. *Metals* 11(12), 1961 (2021).

2. Zuo, X., Chen, X. & Hu, J. Effect of extrusion temperature on microstructure and mechanical properties of solid-state recycled AA6063 aluminum alloy. *Materials* 16(16), 5344 (2023).

3. Laber K.: Określenie własności reologicznych wybranych gatunków stali do spęczania na zimno w próbie skręcania. *Hutnik – Wiadomości Hutnicze* 2015, nr 5, s. 238-242.

4. Sawicki S., Kawalek A., Labek K., Dyja H., Borowski J., Leśniak D., Jurczak H.: Plastometric testing of rheological properties of 5083 and 5754 aluminium Alloy. 2nd International Conference on Non-Ferrous Metals ICNFM'2015, June 22-24.2015, Cracow, Poland, AGH University of Science and Technology, Book of Abstract, P. 129-130.

5. Devanathan, C., Shankar, E., Sivanand, A. & Haribabu, B. Processing and testing of aluminum based hybrid surface composites by friction stir processing. *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.* 923, 012022 (2020).

6. Koch, M. Bonhage, M. Teschke, L. Luecker, B. Behrens, F. Walther Electrical resistance-based fatigue assessment and capability prediction of extrudates from recycled field-assisted sintered EN AW-6082 aluminium chips *Mater Characterization*, 169 (2020)

7. Orlov G.A.: *Osnovy teorii prokatki i volotchenia trub*. Wyd. Uniwersytetu Uralskiego, Jekaterinburg 2016.

8. Krolo J, Gudic S, Vrsalovic L, Lela B, Dacic Z. Fatigue and corrosion behavior of solid-state recycled aluminum alloy EN AW 6082. *J Mater Eng Perform* 2020;29(7):4310–21.

9. Effect of grain boundary misorientation, deformation temperature and AlFeMnSi-phase on fatigue life of 6082 Al alloy *Mat Charact*, 124 (2017), pp. 229-240

10. Wang, J., Chen, X., Yang, L. & Zhang, G. Effect of preheat & post-weld heat treatment on the microstructure and mechanical properties of 6061-T6 aluminum alloy welded sheets. Mater. Sci. Eng. A 841, 143081 (2022).

Советбаев Р.А.¹, Нугман Е.З.¹, Шаяхметов Е.Я.*², Kawalek А.³

¹Қ.И. Сәтбаев атындағы Қазақ Ұлттық Техникалық Зерттеу Университеті, Алматы, Қазақстан

²Семей қаласының Шәкәрім атындағы университеті, Семей, Қазақстан

³Czestochowa University of Technology, Ченстохова, Польша

AlMgSi1 (6082) алюминий қорытпасын илемдеу жағдайында механикалық және физика-химиялық қасиеттерін зерттеуге дайындау

Аңдатпа. Зерттеу AlMgSi1 (6082) алюминий қорытпасын илемдеу жағдайында оның механикалық және физика-химиялық қасиеттерін зерттеуге дайындауға бағытталған. Жұмыстың мақсаты – оның қасиеттерін қайталанатын талдауды қамтамасыз ететін қорытпаны дайындау әдістемесін әзірлеу. Негізгі бағыттарға материалдың реологиялық және пластикалық қасиеттерін, сондай-ақ деформациядағы жылу әсерлерін зерттеу кіреді.

Жұмыстың ғылыми маңыздылығы термиялық өңдеудің және деформация параметрлерінің қорытпаның пластикалық аққыштығы мен коррозияға төзімділігіне әсерін талдау болып табылады. Практикалық маңыздылығы – әртүрлі өнеркәсіптік қосымшалар үшін материалдардың сапасын арттыруда. Әдістеме термиялық өңдеу және илемдеу эксперименттерін, қорытпаның микроқұрылымы мен механикалық қасиеттерін талдауды қамтыды. Сынақтар STD 812 бұралу пластомерін қолдана отырып, әртүрлі температуралар мен деформация жылдамдықтарындағы үлгілерде жүргізілді.

Нәтижелер қорытпаның пластификация кернеуі төмен температурада деформациямен жоғарылайтынын және жоғары температурада төмендейтінін көрсетті. Нәтижелер температура мен деформация жылдамдығының қорытпа қасиеттеріне айтарлықтай әсерін растайды.

Түйін сөздер: илемдеу процесі, алюминий қорытпасы, созылу, деформация, эмиссия қабілеті, пластикалық аққыштық.

Советбаев Р.А.¹, Нугман Е.З.¹, Шаяхметов Е.Я.*², Kawalek А.³

¹Казахский национальный научно-исследовательский технический университет

имени К. И. Сәтпаева, Алматы, Казахстан

²Университет имени Шакарима г. Семей, Семей, Казахстан

³Czestochowa University of Technology, Ченстохова, Польша

Подготовка алюминиевого сплава AlMgSi1 (6082) к исследованию механических и физико-химических свойств в условиях прокатки

Аннотация. Исследование посвящено подготовке алюминиевого сплава AlMgSi1 (6082) к исследованию его механических и физико-химических свойств в условиях прокатки. Цель работы – разработка методики подготовки сплава, обеспечивающей воспроизводимый анализ

его свойств. Основные направления включают изучение реологических и пластичных свойств материала, а также тепловых эффектов при деформации. Научная значимость работы заключается в анализе влияния термической обработки и параметров деформации на пластическую текучесть и коррозионную стойкость сплава. Практическая значимость – в повышении качества материалов для различных промышленных применений. Методология включала эксперименты с термической обработкой и прокаткой, анализ микроструктуры и механических свойств сплава. Испытания проводились на образцах при разных температурах и скоростях деформации с использованием пластомера кручения STD 812.

Результаты показали, что пластифицирующее напряжение сплава увеличивается с деформацией при низких температурах и уменьшается при высоких температурах. Выводы подтверждают значительное влияние температуры и скорости деформации на свойства сплава.

Ключевые слова: процесс прокатки, алюминиевый сплав, растяжение, деформация, эмиссионная способность, пластическая текучесть.

Information about the authors:

Sovetbayev Rail Ayanovich – a doctoral student at the K. I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, specializing in "Digitalization of machine–building production", 22 Satpayev Street, Almaty city, Kazakhstan.

Nugman Erik Zeynelovich – PhD, Head of the Department of Mechanical Engineering of the K. I. Satpayev Kazakh National Research Technical University, Associate Professor of the Department of Mechanical Engineering, 22 Satpayeva Street, Almaty city, Kazakhstan.

Shayakhmetov Yerzhan Yarnarovich – correspondence writer, PhD, senior lecturer at the Department of Technological Equipment and Mechanical Engineering of the Shakarim Semey University, 20A Glinka Street, Semey city, Kazakhstan.

Kawalek Anna – PhD, Professor at Czestochowa University of Technology, Faculty of Industrial Engineering and Materials Technology, 69 Generała Jana Henryka dąbrowskiego Street, Czestochowa city, Poland.

Сведения об авторах:

Советбаев Раил Аянович – докторант Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева по специальности "Цифровизация машиностроительного производства", улица Сатпаева, 22, город Алматы, Казахстан.

Нугман Ерик Зейнелович – PhD, ассоциированный профессор, заведующий кафедрой «Машиностроение» Казахского национального исследовательского технического университета имени К. И. Сатпаева, улица Сатпаева, 22, город Алматы, Казахстан.

Шаяхметов Ержан Ярнарлович – автор корреспонденции, PhD, старший преподаватель кафедры технологического оборудования и машиностроения Университета имени Шакарима г. Семей, улица Глинки, 20А, Семей, Казахстан.

Kawalek Anna – PhD, профессор Czestochowa University of Technology, факультет производственной инженерии и технологии материалов, улица Generała Jana Henryka dąbrowskiego, 69, Ченстохова, Польша.



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.
– 2 (147)/2024 – Астана: ЕҰУ. – 245 б. Шартты б.т. – 33,7. Таралымы – сұраныс бойынша.

Басуға қол қойылды: 29.06.2024 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.