

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің

**ХАБАРШЫСЫ**  
**BULLETIN** **ВЕСТНИК**  
of L.N. Gumilyov Евразийского национального  
Eurasian National University университета имени Л.Н. Гумилева

**ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы**

**TECHNICAL SCIENCES AND TECHNOLOGY Series**

**Серия ТЕХНИЧЕСКИЕ НАУКИ И ТЕХНОЛОГИИ**

**№ 1(138)/2022**

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

Нұр-Сұлтан, 2022

Nur-Sultan, 2022

Нур-Султан, 2022

Бас редакторы **Мерзадинова Г.Т.**  
т.ғ.д, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан  
Бас редактордың орынбасары **Жусупбеков А.Ж.**  
т.ғ.д, проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан  
Бас редактордың орынбасары **Тогизбаева Б.Б.**  
т.ғ.д., проф., Л.Н.Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

#### *Редакция алқасы*

<b>Акира Хасегава</b>	проф., Хачинохе технологиялық институты, Хачинохе, Жапония
<b>Акиитоши Мочизуки</b>	проф., Токусима Университеті, Токусима, Жапония
<b>Базарбаев Д.О.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Байдабеков А.К.</b>	т.ғ.д. проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Дер Вэн Чанг</b>	проф., Тамкан Университеті, Тайбэй, Тайвань
<b>Жумагулов М.Г.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Закирова А.Б.</b>	п.ғ.к. (комп. ғылымдар), доцент, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Йошинори Ивасаки</b>	проф., Геологиялық зерттеулер институты, Осака, Жапония
<b>Калякин В.Н.</b>	проф., Делавэр Университеті, Ньюарк, АҚШ
<b>Куц С.</b>	проф., Краков технологиялық университеті, Краков, Польша
<b>Сахапов Р.Л.</b>	проф., Қазан мемлекеттік сәулет-құрылыс университеті, Қазан, Ресей
<b>Тадатсугу Танака</b>	проф., Токио Университеті, Токио, Жапония
<b>Тулбекова А.С.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Хое Линг</b>	проф., Колумбия Университеті, Нью-Йорк, АҚШ
<b>Утепов Е.Б.</b>	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Чекаева Р.У.</b>	а.к., проф., Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Шахмов Ж.А</b>	PhD, Л.Н. Гумилев атындағы ЕҰУ, Нұр-Сұлтан, Қазақстан
<b>Юн Чул Шин</b>	проф., Инчон ұлттық университеті, Инчон, Оңтүстік Корея

Редакцияның мекенжайы: 010008, Қазақстан, Нұр-Сұлтан қ., Сәтбаев к-сі, 2, Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, 402 б.  
Тел: +7 (7172) 709-500 (ішкі 31-410). E-mail: [vest\\_techsci@enu.kz](mailto:vest_techsci@enu.kz)

#### **Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің Хабаршысы**

#### **ТЕХНИКАЛЫҚ ҒЫЛЫМДАР ЖӘНЕ ТЕХНОЛОГИЯЛАР сериясы**

Меншіктенуші: КеАҚ "Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті"

Мерзімділігі: жылына 4 рет

Қазақстан Республикасының Ақпарат және коммуникациялар министрлігімен тіркелген

19.04.2021ж. № KZ31VPY00034682 қайта есепке қою туралы куәлігі

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

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел: +7 (7172)709-500 (ішкі 31-410). Сайт: <http://bultech.enu.kz>

*Editor-in-Chief* **Gulnara Merzadinova**  
*Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*  
*Deputy Editor-in-Chief* **Askar Zhussupbekov**  
*Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*  
*Deputy Editor-in-Chief* **Baglan Togizbayeva**  
*Prof., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

***Editorial board***

<b>Akira Hasegwa</b>	Prof., Hachinohe Institute of Technology, Hachinohe, Japan
<b>Akitoshi Mochizuki</b>	Prof., University of Tokushima, Tokushima, Japan
<b>Daniyar Bazarbayeva</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Auez Baydabekov</b>	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Der Wen Chang</b>	Prof., Tamkang University, Taipei, Taiwan (ROC)
<b>Mihail Zhumagulov</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Alma Zakirova</b>	Assoc. Prof. (comp. sci.), L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Yoshinori Iwasaki</b>	Prof., Geo Research Institute, Osaka, Japan
<b>Viktor Kalakin</b>	Prof., University of Delaware, Newark, Delaware, USA
<b>Sabina Kuc</b>	Prof., Cracow University of Technology, Cracow, Poland
<b>Rustem Sakhapov</b>	Prof., Kazan State University of Architecture and Engineering, Kazan, Russia
<b>Tadatsugu Tanaka</b>	Prof., University of Tokyo, Tokyo, Japan
<b>Tulebekova Assel</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Hoe Ling</b>	Prof., Columbia University, New York, USA
<b>Yelbek Uteпов</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Rahima Chekaeva</b>	Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Zhanbolat Shakhmov</b>	Assoc. Prof., L.N. Gumilyov ENU, Nur-Sultan, Kazakhstan
<b>Eun Chul Shin</b>	Prof., Incheon National University, Incheon, South Korea

Editorial address: 2, Satpayev str., of. 402, L.N. Gumilyov Eurasian National University,  
Nur-Sultan, Kazakhstan, 010008  
Tel.: +7 (7172) 709-500 (ext. 31-410), E-mail: [vest\\_techsci@enu.kz](mailto: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., L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan 010008

Tel: +7 (7172) 709-500 (ext.31-410). Website: [http:// bultech.enu.kz](http://bultech.enu.kz)

Главный редактор **Мерзалинова Г.Т.**  
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
Зам. главного редактора **Жусупбеков А.Ж.**  
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан  
Зам. главного редактора **Тогизбаева Б.Б.**  
д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

#### **Редакционная коллегия**

<b>Акира Хасегава</b>	проф., Технологический институт Хачинохе, Хачинохе, Япония
<b>Акитоши Мочизуки</b>	проф., Университет Токусима, Токусима, Япония
<b>Базарбаев Д.О.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Байдабеков А.К.</b>	д.т.н., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Дер Вэн Чанг</b>	проф., Тамканский Университет, Тайбэй, Тайвань
<b>Жумагулов М.Г.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Закирова А.Б.</b>	к.п.н. (комп. науки), доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Йошинори Ивасаки</b>	проф., Институт геологических исследований, Осака, Япония
<b>Калякин В.Н.</b>	проф., Делаверский Университет, Ньюарк, США
<b>Куц С.</b>	проф., Краковский технологический университет, Краков, Польша
<b>Сахапов Р.Л.</b>	проф., Казанский государственный архитектурно-строительный университет, Казань, Россия
<b>Тадатсугу Танака</b>	проф., Токийский Университет, Токио, Япония
<b>Тудебекова А.С.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Хое Линг</b>	проф., Колумбийский университет, Нью-Йорк, США
<b>Утепов Е.Б.</b>	PhD, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Чекаева Р.У.</b>	к.а., проф., ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Шахмов Ж.А</b>	PhD, доцент, ЕНУ имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан
<b>Юн Чул Шин</b>	проф., Инчхонский национальный университет, Инчхон, Южная Корея

Адрес редакции: 010008, Казахстан, г. Нур-Султан, ул. Сатпаева, 2, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, каб. 402  
Тел: +7(7172) 709-500 (вн. 31-410). E-mail: [vest\\_techsci@enu.kz](mailto: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. Нур-Султан, ул. Кажымукана, 13/1, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева

Тел.: +7(7172)709-500 (вн.31-410). Сайт: [http:// bultech.enu.kz](http://bultech.enu.kz)

МАЗМҰНЫ/ CONTENTS/ СОДЕРЖАНИЕ

- Е.Т. Әуесбаев, М.И. Артабеков* Ауыр және жүрдек пойыздар қозғалысы бар учаскелерде теміржол жолын нығайту  
*Ү.Т. Ауесбаев, М.И. Артабеков* Strengthening the railway track on sections with heavy and high-speed train traffic  
*Е.Т. Әуесбаев, М.И. Артабеков* Усиление железнодорожного пути на участках с тяжеловесным и скоростным движением поездов 7
- А.М. Ахметова, А.С. Шаяхметова, А.Б. Закирова* Мұнай айдайтын станцияны басқарудың автоматтандырылған жүйесін жетілдіру  
*А.М. Akhmetova, A.S. Shayakhmetova, A.B. Zakirova* Improvement of the automated control system of the oil pumping station  
*А.М. Ахметова, А.С. Шаяхметова, А.Б. Закирова* Совершенствование автоматизированной системы управления нефтеперекачивающей станцией 15
- А.Буранбаева, А.Жүсүпбеков, Р.Нурсафин, К.Бадашвили* Нұр-Сұлтан қаласындағы Абу-Даби Плаза құрылыс жобасы мысалында іргетас мониторингімен үйлестіре отырып, Building Information Modeling (BIM) жобасының концепциясын жасау  
*А.Буранибаева, А.Жусупбеков, Р.Нурсафин, К. Бадашвили* Design a Building Information Modeling (BIM) project concept in combination with foundation monitoring on the example of the Abu Dhabi Plaza construction project  
*А.Буранбаева, А.Жусупбеков, Р.Нурсафин, К.Бадашвили* Построение концепции проекта информационного моделирования зданий (BIM) в сочетании с мониторингом фундамента на примере строительного проекта Abu Dhabi Plaza 23
- Г.Т. Итыбаева, Г.М. Базенов, А.Ж. Касенов, А.С. Янюшкин, К.К. Абишев* Табақ шыныны өңдеу  
*Г.Т. Итыбаева, Г.М. Bazhenov, A.Zh. Kasenov, A.S. Yanushkin, K.K. Abishev* Processing of flat glass  
*Г.Т. Итыбаева, Г.М. Базенов, А.Ж. Касенов, А.С. Янюшкин, К.К. Абишев* Обработка листового стекла 34
- А.З. Исина, Б.Е. Озганбаева, Д.О. Калиев* Ортағасырлық Қазақстандағы мұсылмандық оқу орындардың сәулеттік кеңістіктерінің ұйымдастырылуы  
*A.Z. Issina, B.E. Ozganbayeva, D.O. Kaliyev* Architectural and spatial organization of Muslim educational institutions in Kazakhstan in the medieval period  
*А.З. Исина, Б.Е. Озганбаева, Д.О. Калиев* Архитектурно-пространственная организация мусульманских учебных заведений Казахстана в средневековый период 44
- М.Т. Мурсалькова, М.М. Какимов, А.Л. Касенов, Д.Р. Орынбеков, Ж.Х. Тохтаров, Б.М. Искаков* Шағын өндірісте мақсары майын өндеуге арналған технологиялық желісі  
*М. Mursalykova, M. Kakimov, L. Kassenov, D. Orynbekov, Zh. Tokhtarov, B. Iskakov* Technological line for the production of safflower oil in a mini-production  
*М.Т. Мурсалькова, М.М. Какимов, А.Л. Касенов, Д.Р. Орынбеков, Ж.Х. Тохтаров, Б.М. Искаков* Технологическая линия для производства сафлорового масла в минипроизводстве 59

*Тогызбаева Б., Сулеев Б.Д., Қуанышұлы Ж., Кеңесбек Ә.* Параметрлік талдау негізінде экскаватор конструкцияларының техникалық деңгейін анықтау

*Togizbayeva B., Suleyev B., Kuanyshtuly Zh., Kenesbek A.* Determination of the technical level of excavator structures based on parametric analysis

*Тогызбаева Б., Сулеев Б.Д., Қуанышұлы Ж., Кеңесбек А.* Определение технического уровня конструкций экскаваторов на основе параметрического анализа

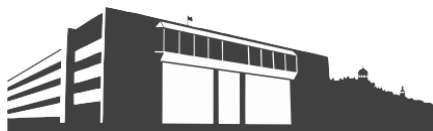
67

*А.С.Түлебекова, Е.Ашқей, А.К.Жанкина* Қадалармен топырақтың статикалық сынақтарын жүргізу ерекшеліктері

*A.S. Tulebekova, Ye. Ashkey, A.K. Zhankina* Experience in pile testing on different construction sites

*А.С.Түлебекова, Е.Ашқей, А.К.Жанкина* Опыт проведения испытаний свай на различных строительных площадках

76



МРНТИ 73.29.81

Е.Т. Ауесбаев<sup>1</sup>, М.И. Арпабеков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Казахская головная архитектурно-строительная академия, Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>ТОО «Center Innovation», Нур-Султан, Казахстан

E-mail: eauesbaev@mail.ru, arpabekov\_m@mail.ru

## Усиление железнодорожного пути на участках с тяжеловесным и скоростным движением поездов

**Аннотация.** В статье описаны способы и методы усиления нижнего и верхнего строения железнодорожного пути для отдельных участков с тяжеловесным и скоростным движением поездов. Предложены размеры осадок рельса по центру колеса вагона, способы уменьшения упругих вертикальных деформаций верхнего строения железнодорожного пути под поездами, приведены предлагаемые конструкции пути для тяжеловесного движения грузовых поездов. Повышение прочности слабых грунтов верхнего земляного полотна до уровня прочных и гидрофобных за короткое время, возможно, включив стабилизацию грунтов основной площадки в программу капитального или среднего ремонта пути. Для этого необходимо применить высокопроизводительные технологии и механизации – например, технологии холодного ресайклинга. Необходимые машины и механизмы для стабилизации грунта основной площадки железнодорожного земляного полотна, используемые в транспортном строительстве – это цементовозы, распределители цемента (или золоцементной смеси), дорожные фрезы и ресайклеры, автогрейдеры, поливочные машины, катки и т.д. Также рассмотрены технические требования для скоростного движения пассажирских поездов.

**Ключевые слова:** железнодорожный путь; тяжеловесное движение; деформации земляного полотна, стабилизаторы, конечно-элементные модели железнодорожного пути, оптимальный прогиб рельса.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-7-14](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-7-14)

### Введение

Недостаток провозной способности отдельных участков железных дорог Республики Казахстан заставляет вводить тяжеловесное движение поездов, в которых вес поезда превышает 6000т, а статическая осевая нагрузка вагонов составляет 25-27 тс/ось. Повышение нагрузки на элементы пути приводит к росту их упругих и остаточных деформаций. Уже при осевых вагонных нагрузках в 20тс/ось возникают многочисленные вертикальные деформации основной площадки земляного полотна, которые приходится устранять подъемками пути на балласт.

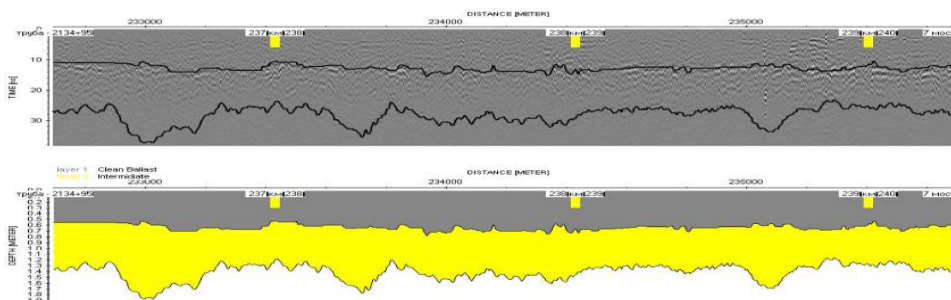


Рисунок 1. Деформации верхнего земляного полотна из глинистых грунтов в процессе эксплуатации (желтым показана песчаная подушка под щебнем)



На рисунке 1 приведены результаты съемки деформаций пути георадаром перед капитальным ремонтом пути. На всем протяжении путь покрыт просадками, перекосами, участками с грязевыми выплесками, а зимой пучинами разной высоты. По данным ОАО «Российские железные дороги», увеличение осевой вагонной нагрузки с 20тс/ось к 25тс/ось приводит к росту интенсивности деформаций пути не менее, чем на 20%. В итоге из-за потребности в проведении ремонтов пути снижается доступность инфраструктуры и растут эксплуатационные расходы. Анализ мирового опыта тяжеловесного движения [1] показал, что снижение эксплуатационных расходов при тяжеловесном движении достигается при уменьшении вертикальных осадок рельсов под колесами до 2.5-3.5 мм при вертикальном давлении колеса на рельс в 16.3 тс.

### Основная часть

На железных дорогах АО «Национальная компания «Казахстан темир жолы» вертикальные деформации рельсов под колесами составляют 6-8мм и более. Для введения этих деформаций в оптимальный диапазон 2.5-3.5мм требуется уменьшение вертикальных упругих деформаций, как верхнего строения пути, так и основной площадки земляного полотна. Необходимое усиление пути должно содержать такие мероприятия, которые можно выполнить при капитальном ремонте пути.

Уменьшение упругих вертикальных деформаций верхнего строения пути под поездами может быть достигнуто:

- повышением вертикальной жесткости подрельсовых и нашпальных прокладок от 50-90Мн до 200-300Мн и уменьшением толщины пластиковых прокладок до 6-8мм,
- разделением 40см щебеночного слоя под шпалой на два слоя по 20см и пропиткой нижнего щебеночного слоя битумной эмульсией с уплотнением «врасклинку», что позволяет увеличить его модуль деформации до 800Мпа, а верхний слой щебня укладывается по обычной технологии с модулем деформации 200 Мпа.

Уменьшение вертикальных деформаций грунтов основной площадки земляного полотна может быть достигнуто упрочнением местного грунта при его механизированном перемешивании со специальными добавками. В качестве добавок используются отходы промышленности, цемент, известь, битумная и др. эмульсии.

Наибольшее распространение на территории Казахстана имеют глинистые грунты различного генезиса [2]. Основным сдерживающим фактором широкого их применения в дорожном строительстве является изменение физико-механических характеристик в худшую сторону при увлажнении. Но смесь этих грунтов со стабилизаторами и небольшим количеством вяжущих изменяет свойства грунтов, превращая их в гидрофобную и морозоустойчивую среду.

Положительное воздействие стабилизаторов на глинистый грунт связано с частичным разложением воды на ионы  $H^+$  и  $OH^-$ , ионным обменом, пластифицирующим и гидрофобизирующим воздействием.

За счет разложения воды и активного ионного обмена уменьшается толщина пленок воды на поверхности грунтовых агрегатов, разрушается электростатический потенциальный барьер в грунтовой конгломератной системе. Органические ионы, содержащиеся в стабилизаторе, проникают внутрь кристаллической решетки глинистых минералов и вытесняют оттуда ионы  $H^+$  и  $OH^-$ , а также катионы металлов, что способствует более прочной связи между пакетами кристаллов. Происходит агрегирование грунта, снижается его оптимальная влажность, повышается плотность, прочность и водостойкость [3].

По данным Когана А.Я., с введением тяжеловесного движения поездов растут вертикальные и боковые силы, передаваемые от вагона на путь. Особенно это проявляется в кривых участках пути. Академиком Лазаряном В.А. установлено, что при неустановившемся



режиме торможения и скорости 15—20 км/час в поезде возникают значительные продольные силы, которые могут быть в 2,0—2,5 раза больше максимальной силы тяги локомотива по сцеплению. По данным испытаний ОАО «ВНИКТИ» максимальные продольные усилия сжатия в составах соединенных поездов превысили норматив в 50тс и были равны 120тс в поезде массой 12600т и 140тс в поезде массой 14200т.

На участках тяжеловесного движения отмечен рост на 17-18% эксплуатационных расходов на текущее содержание 1 км пути, на некоторых участках пути происходит осадка пути, ухудшается покิโลметровая бальная оценка, ускоряется накопление деформаций земляного полотна и верхнего строения пути. Увеличение прогибов рельсов ведет к снижению ресурса наработки тоннажа рельсами и шпалами и повышению затрат на тягу поездов.

Расчетный прогиб рельсов Р65 конструкции пути при вертикальном давлении колеса 16.3тс и при модулях деформации грунтов земляного полотна от 10 до 30 МПа и высоте насыпи в 4м составляет соответственно от 9 до 5мм.

Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения [8] показало, что оптимальный модуль упругости пути должен возрасти при росте поездных нагрузок, а оптимальный прогиб рельса под колесом вагона должен находиться в диапазоне от 1.3 до 3.8мм.

На железных дорогах Казахстана существенный вклад в величину прогиба рельса Р65 вносят деформации подрельсовых и нашпальных прокладок. Сжатие подрельсовых и нашпальных прокладок достигает 50% общей вертикальной деформации рельса под поездной нагрузкой. Длительное время считалось, что снижение вертикальной жесткости прокладок и увеличение их толщины способствует лучшему распределению поездной нагрузки на шпалы, увеличивая длину волны прогиба рельса. В расчетах длины волны прогиба рельса при этом не учитывалась деформация земляного полотна. Также не учитывалось, что большой ход напряжений в клеммах и рельсах при значительном сжатии прокладок снижает ресурс наработки тоннажа упругих клемм и рельсов.

### Обсуждение

Можно повысить прочность слабых грунтов верха земляного полотна и сделать эти грунты прочными и гидрофобными за короткое время, включив стабилизацию грунтов основной площадки в программу капитального или среднего ремонта пути. Необходимые для этого высокопроизводительные технологии и механизация есть – это, например, технологии холодного ресайклинга. Машины, необходимые для стабилизации грунта основной площадки железнодорожного земляного полотна используются в транспортном строительстве. Это: цементовозы, распределители цемента (или золоцементной смеси), дорожные фрезы и ресайклеры, автогрейдеры, поливочные машины и катки.

Главным рабочим агрегатом холодных ресайклеров является фрезерно-смесительный барабан. На быстро вращающемся барабане располагаются особые резцы, которые поворачиваются против хода движения машины (ресайклера), разрушая и дробя грунты и материал балластной призмы. При движении по рабочему участку, в смесительный отсек вращающегося фрезерно-смесительного барабана подается вода, которая поступает по упругому рукаву из автомобильной цистерны. Цистерна едет впереди ресайклера. Объем воды регулируется насосом с микропроцессорным управлением, вращающийся барабан тщательно смешивает её с материалом, который был измельчен фрезерным барабаном, чтобы влажность итоговой смеси идеально подходила для ее уплотнения. Вяжущие жидкого типа могут быть также добавлены непосредственно в смесительный отсек барабана. Через распределительную рампу в смесительный отсек может быть добавлен вспененный битум. Вяжущие

порошкообразного типа, к примеру, гашеная известь, обычно наносятся слоем на существующую дорогу перед ресайклером.

Ресайклером грунт смешивается с вяжущими и ферментами, доводится до оптимальной влажности, затем планируется автогрейдером и укатывается тяжелыми вибрационными катками. Укатка обработанного грунта идет сразу же за ресайклером, но не позже 3-х часов после обработки грунта. Глубина обработки грунта - до 50см – что достаточно для участков с тяжеловесным движением поездов. Для участков высокоскоростного движения пассажирских поездов достаточно стабилизировать верхние 25-30см грунта основной площадки. Модуль деформации стабилизированного грунта составляет от 120МПа до 600МПа в зависимости от рецептуры добавок. За смену комплекс обрабатывает 5000-8000 м<sup>2</sup> грунта основной площадки и может быть вписан в технологический процесс капитального ремонта пути на закрытом перегоне.

### Результаты

На рисунках 2 и 3 приведены предлагаемые конструкции пути для тяжеловесного движения грузовых поездов.

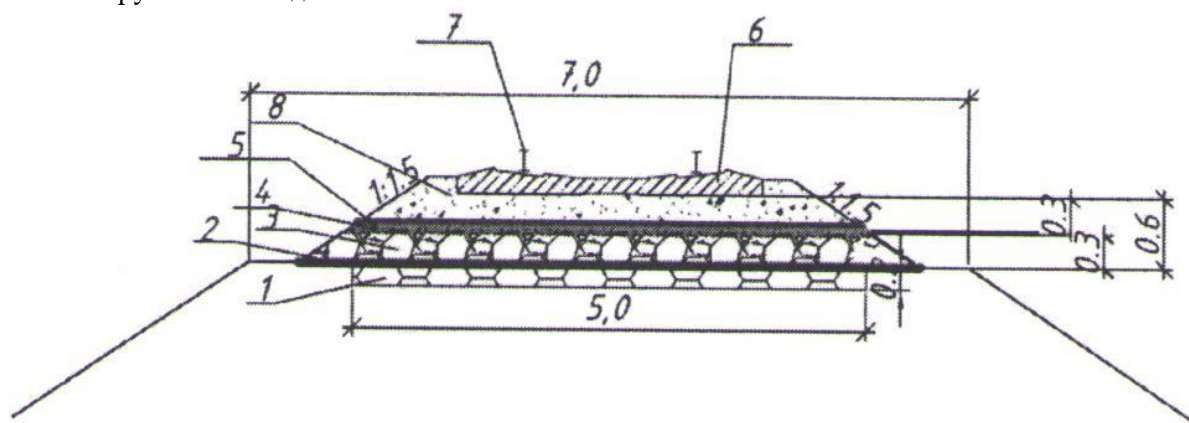


Рисунок 2. Поперечный профиль насыпи однопутного пути

1- стабилизированный слой местного глинистого грунта  $E_d=120\text{МПа}$ , 2-геосетка, 3- слой щебня укатанный врасклинку, пропитанный битумом, 4- геотекстиль, 5-геосетка, 8-слой щебня после уплотнения не менее 0.3м, 6 -ж.б. шпала,7 - рельс Р65 бесстыкового пути.

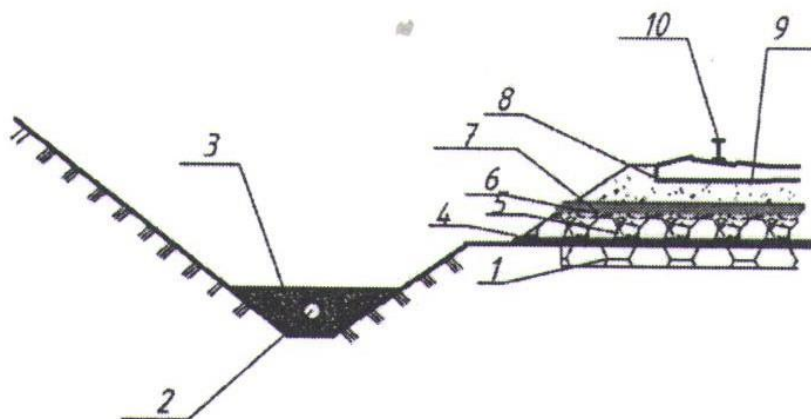


Рисунок 3. Поперечный профиль выемки однопутной железной дороги

1-стабилизированный слой местного грунта  $E_d=120\text{МПа}$ , 2- дренажная перфорированная труба диаметром 100мм, 3- засыпка кювета дренирующим грунтом, 4-геосетка, 5- слой щебня укатанный врасклинку и пропитанный битумом, 6- геотекстиль, 7- геосетка, 8- слой щебня толщиной более 0.3м, 9- ж.б. шпала, 10 – рельс Р65.

Необходимая толщина и прочность стабилизированного слоя грунтовых смесей может быть получена расчетом конечно-элементных моделей пути численными методами [4,5] (рис. 4).

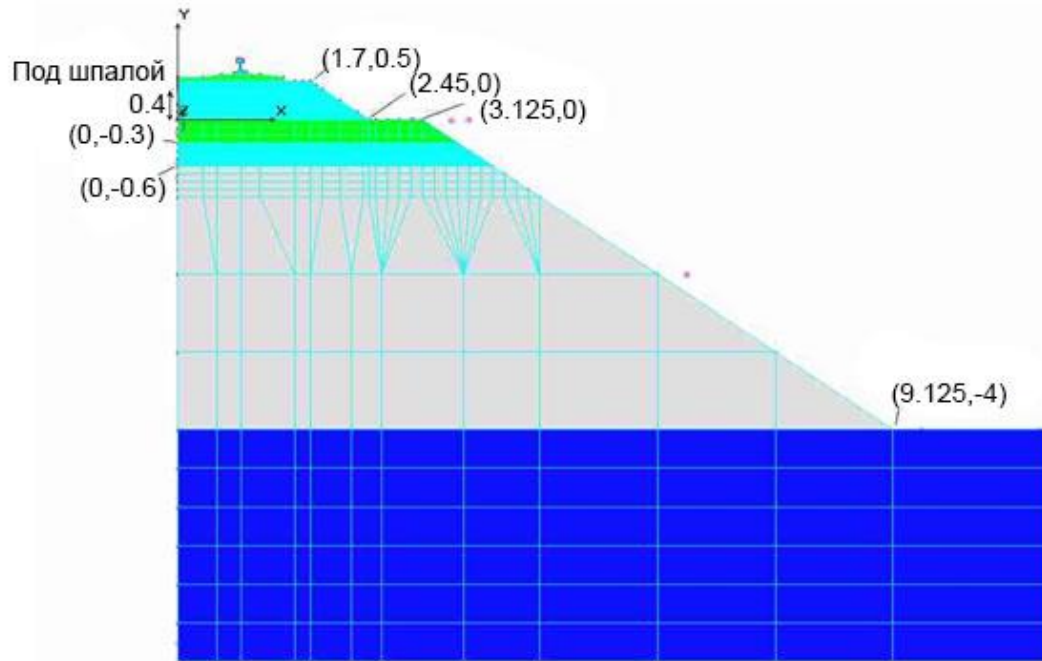


Рисунок 4. Конечно-элементная модель насыпи со стабилизированным слоем грунта основной площадки

Таблица 1

Осадка рельса по центру колеса вагона, мм

Модуль деформации грунта насыпи, МПа	Типовой вариант конструкции пути	Вариант с двухслойной балластной призмой и стабилизированным на 0.5м верхом земляного полотна (200МПа)	Вариант с двухслойной балластной призмой и стабилизированным на 0.5м верхом земляного полотна (500МПа)
10	8,4	6,0	3,5
20	6,0	5,0	3,0
30	5,0	4,0	2,6
40	4,5	3,5	2,4

При скоростном движении поездов с осевой нагрузкой 140 кН/ось прогиб рельса под колесом составит около 1,2 мм, что близко к техническим требованиям для скоростного движения пассажирских поездов.

## Выводы

Предложенные в данной статье конструкции пути для участков тяжеловесного и скоростного движения поездов осуществимы при капитальном ремонте пути на закрытом перегоне. Они позволят снизить эксплуатационные расходы и повысить доступность транспортной инфраструктуры. Повышение прочности слабых грунтов верха земляного полотна до уровня прочных и гидрофобных за короткое время, возможно, включив стабилизацию грунтов основной площадки в программу капитального или среднего ремонтов пути.

Для участков с тяжеловесным движением поездов необходима корректировка нормативов оценки состояния пути и Инструкции по текущему содержанию пути, Действующие нормативы не в полной мере учитывают динамику взаимодействия пути и подвижного состава, что не позволяет обеспечить безопасность движения поездов на должном уровне.

## Список литературы

1. Обобщение мирового опыта тяжеловесного движения. Конструкция и содержание железнодорожной инфраструктуры. -М: ИННА. -2012. - 568 с.
2. Омаров А.Д. Земляное полотно железных дорог Казахстана. Алматы: - Бастау. - 2000. -208 с.
3. Безруков В.М. Основные принципы укрепления грунтов. -М.: -Транспорт, 1987. - 126 с.
4. Исаенко Э.П., Ауесбаев Е.Т., Косенко С.А. Расчеты конструкций железнодорожного пути для скоростного движения поездов. - Алматы. -2006. -134 с.
5. Омаров А.Д., Исаенко Э.П., Омарова Б.А., Омарова Г.А. Стабильный железнодорожный путь. – Алматы, КУПС. -2019. - 312 с.
6. Auesbaev, Y., Abdullaev, S., Baky, G., Aikumbekov, M., Bondar, I. (2021). Determination of natural modes of railway overpasses. Journal of Applied Research and Technology, 19(1), 1-10. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2021.19.1.1487>
7. Parida, A., Stenstrom, C. and Kumar, U. Performance measurement for managing railway infrastructure. International Journal of Railway Technology, 2014. vol. 2, no. 4, pp. 888-901.

*Е.Т. Әуесбаев<sup>1</sup>, М.И. Арнабеков<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup>Қазақ Бас сәулет-құрылыс академиясы, Алматы, Қазақстан*

*<sup>2</sup>ЖШС «Center Innovation», Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

## Ауыр және жүрдек пойыздар қозғалысы бар учаскелерде теміржол жолын нығайту

**Аңдатпа.** Мақалада ауыр салмақты және жүрдек поездар қозғалысы бар бөлек учаскелерге арналған теміржолдың төменгі және жоғарғы құрылысын нығайту тәсілдері мен әдістері сипатталған. Вагон доңғалағының ортасындағы рельс шөгінділерінің өлшемдері, пойыз астындағы теміржолдың жоғарғы құрылымының серпімді тік деформацияларын азайту әдістері ұсынылған және жүк поездарының ауыр салмақты қозғалысы үшін ұсынылатын жол конструкциялары келтірілген. Негізгі алаңдағы топырақты тұрақтандыруды күрделі немесе орташа жөндеу бағдарламасына қосу арқылы қысқа уақыт ішінде жер төсемінің жоғарғы жағындағы әлсіз топырақтардың беріктігін берік және гидрофобты деңгейге дейін арттыру мүмкіндігі. Ол үшін жоғары өнімді технологиялар мен механикаландыруды қолдану қажет. Мысалы, суық ресайклинг технологиясы. Көлік құрылысында пайдаланылатын темір жол жер төсемінің негізгі алаңының топырағын тұрақтандыру үшін қажетті машиналар мен тетіктер - бұл

цемент тасушылар, цемент (немесе күл-цемент қоспасы) таратушылар, жол фрезалары мен ресайклерлер, автогрейдерлер, суаратын машиналар, аунақтар және т.б. Сондай-ақ, жолаушылар пойыздарының жедел қозғалысына қойылатын техникалық талаптар қарастырылған.

**Түйін сөздер:** теміржол жолы, ауыр салмақты қозғалыс, жер төсемінің деформациясы, стабилизаторлар, теміржолдың элементтік модельдері, рельстің оптималдық иілуі.

Ү.Т. Ауесбаев,<sup>1</sup> М.И. Арпабеков<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Kazakh Head Architecture and Civil Engineering Academy, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>TOO «Center Innovation», Nur-Sultan, Kazakhstan

### Strengthening the railway track on sections with heavy and high-speed train traffic

**Abstract.** This study describes the ways and methods of strengthening the lower and upper structure of the railway track for separate sections with heavy and high-speed train traffic. The dimensions of the rail settlements in the center of the car wheel, methods of reducing the elastic vertical deformations of the upper structure of the railway track under the trains are proposed, the proposed track designs for the heavy traffic of freight trains are given. Increasing the strength of soft soils at the top of the subgrade to the level of strong and hydrophobic ones in a short time, possibly by including soil stabilization of the main site in the program of major or medium repairs of the track. This requires the use of high-performance technologies and mechanization - for example, cold recycling technology. The necessary machines and mechanisms for stabilizing the soil of the main site of the railway subgrade used in transport construction are cement trucks, distributors of cement (or ash-cement mixture), road milling machines and recyclers, motor graders, watering machines, rollers, etc. In addition, the technical requirements for high-speed passenger trains are considered.

**Keywords:** railway track; heavy movement; deformations of the roadbed, stabilizers, finite element models of the railway track, optimal rail deflection.

### References

1. Generalization of the world experience of heavy traffic. Construction and maintenance of railway infrastructure. – M: ИИНА. -2012. -568 p.
2. Omarov A.D. The roadbed of the railways of Kazakhstan. –Almaty: Bastau, -2000, -208 p.
3. Bezrukov V.M. Basic principles of soil strengthening. - M: Transport, -1987.-126 p.
4. Isaenko E.P., Auyesbayev Y.T., Kosenko S.A. Calculations of railway track structures for high-speed train traffic. –Almaty. -2006. -134 p.
5. Omarov A.D., Isaenko E.P., Omarova B.A., Omarova G.A. Stable railway track. –Almaty: KUR - 2019. -312 p.
6. Auesbaev, Y., Abdullaev, S., Baky, G., Aikumbekov, M., Bondar, I. (2021). Determination of natural modes of railway overpasses. Journal of Applied Research and Technology, 19(1), 1-10. <https://doi.org/10.22201/icat.24486736e.2021.19.1.1487>
7. Parida, A., Stenstrom, C. and Kumar, U. Performance measurement for managing railway infrastructure. International Journal of Railway Technology, 2014. vol. 2, no. 4, pp. 888-901.

**Сведения об авторах:**

*Ауесбаев Е.Т.* – доктор технических наук, Казахская головная архитектурно-строительная академия, Алматы, ул. Рыскулбекова, 28, Казахстан.

*Арпабеков М.И.* - доктор технических наук, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан.

*Auyesbayev Y.T.* – Doctor of technical sciences, Kazakh Head Architecture and Civil Engineering Academy, Almaty, Ryskulbekov street, Kazakhstan.

*Arpabekov M.I.* – Doctor of technical sciences, L.N. Gumilyov Eurasian National university, Nur-Sultan.



А.М. Ахметова<sup>1</sup>, А.С. Шаяхметова<sup>1</sup>, А.Б. Закирова<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан  
<sup>2</sup>Астана халықаралық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан  
E-mail: <sup>1</sup>ardak\_66@mail.ru, <sup>1</sup>asemshayakhmetova@mail.ru, <sup>2</sup>alma\_zakirova@mail.ru

## Мұнай айдайтын станцияны басқарудың автоматтандырылған жүйесін жетілдіру

**Аңдатпа.** Технологиялық процестерді автоматтандыру жұмыс барысын жақсарту мен жақсы нәтиже алудың бірден-бір көзі болып табылады. Кез-келген өнеркәсіп нысандары, соның ішінде пайдаланыстағы, әлі іске қосылмаған белгілі бір деңгейде автоматтандыру құралдарымен жабдықталады. Технологиялық процесті басқарудың тиімді автоматтандырылған жүйесін ұйымдастыру өте күрделі тапсырмалардың бірі екені белгілі. Кәсіпорындардың тиімділігін ілгерілендірудің негізгі тәсілдері өндірісті оптимизациялау мен жетілдіру, өндіріс қалдықтарын және энергия тасушы шығынын технологиялық тұрғыдан азайту, басқару шешімдерін қабылдау үшін ақпаратты алу жылдамдығы мен нақтылықты жоғарылату болып табылады. Мұнай айдау станциясының автоматтандырылған жүйесі нақты уақыт көлемінде жүйешілік жұмысын әртүрлі жұмыс режимінде тоқтату, іске қосу мен мұнай өндірудің технологиялық үдерістерін басқаруға арналған. Жұмыста мұнай өңдейтін станцияны басқарудың автоматтандырылған жүйесін жетілдіру қарастырылған.

**Түйін сөздер:** басқару жүйесі, Smart жүйе, SCADA, датчик, сигнал.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-15-22](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-15-22)

### Кіріспе

Технологиялық үдерістерді автоматтандыру еңбек жағдайларын жақсарту мен өнімділікті арттырудың маңызды себептерінің бірі болып табылады. Барлық қолданыстағы және құрылысы бітпеген нысандар да автоматтанған жабдықтармен қамтылған. Автоматты басқару жүйелерін өнеркәсіпке енгізу күрделі қайта құруды талап етеді. Сол себепті, автоматтандыру экономикалық, ұйымдастырушылық және техникалық мәнге ие болды [1].

Соңғы кезде автоматтандыру құралдары адамзат қызметінің әртүрлі салаларында кеңінен қолданыс тапты. Ондай салалардың бірі- мұнай мен газды өндіру, сақтау, тасымалдау және өңдеуді айтуға болады.

Отандық мұнай өнеркәсібін дамытудың барлық кезеңдерінде жаңа технологиялық нысандар мен құрылыстарды құрумен қатар, кәсіпорын қызметкерлерін ауыр жұмыстан босататын және қолдану үдерісінде нысандарды басқаруды оңай ететін әдістер мен жабдықтар дайындалған және пайдаланысқа ие. Пайдаланудағы мұнай нысандарында технологиялық үдерістерді механикаландырудың, реттеудің және бақылаудың түрлі тәсілдері пайдаланылады [2]. Мұнай өндірісімен шұғылданатын кәсіпорындар технологиялық нысандарды орталықтандырылған бақылау және басқару арқылы жоғары автоматтандырылғандарға жатады.

Қазақстанның мұнай саласы өткен ғасырдан бастап дами бастады. Біздің еліміз мұнайдың үлкен қорына ие және жыл сайын Қазақстанда мұнайдың 70% - дан астамы өндіріледі. Мұнай мен мұнай өнімдерін айдау, сақтау және тасымалдау үшін сорғы станциялары үлкен рөл атқарады. Магистральдық құбырлардың сорғы станциялары мұнай мен мұнай өнімдерін тасымалдауды қамтамасыз етеді [3].



## Жұмысқа ұқсас зерттеулер

Бұған дейінгі зерттеулерде мұнай айдау станциясының мониторингі мен басқарудың автоматтандырылған жүйесі ұсынылған [4]. Бұл операторларға сандық тұрғыдан қызықты деректер алуға, төтенше жағдайларды болжауға және сәтсіздікті (сбой) бастайтын жүйенің элементтерін бақылауға мүмкіндік береді. [5] жұмыста мұнай станцияларының апатсыз жұмыс істеуін қамтамасыз ету, сорғы агрегаттарының бос тұрып қалу уақытын қысқарту, айдаудың оңтайлы режимдерін қолдау, сондай-ақ автономды жұмыс істеуін және мұнай өңдеу станцияларының қашықтан мониторингін қамтамасыз ету мақсатында магистральдық сорғылардың жұмыс режимдерін жедел бақылау және басқару құралдарын әзірлеу арқылы мұнай айдау сорғы станцияларын автоматтандыру ұсынылған. [6] мақалада функционалды схема және мұнай айдау станцияларын басқарудың автоматтандырылған жүйелерінің заманауи техникалық құралдары және көмірсутек шикізатын тасымалдаудың негізгі технологиялық қондырғыларын басқару алгоритмдері ұсынылған. Зерттеу [7] технологиялық жабдықтың мониторингін, мұнай айдау станцияларында ағып кетуді (утечка) анықтауды және оқшаулауды қамтамасыз етеді.

[8] жұмысында Қазақстан Республикасының магистральдық мұнай құбырлары жүйесін жобалау жөніндегі жұмыстар кешені шеңберінде мұнай құбырларының технологиялық объектілерін автоматтандырылған диспетчерлік бақылау және басқару жүйесін құру нәтижелері ұсынылған. IT-компоненттердің өзара әрекеттесуінің барлық деңгейлеріндегі ашық халықаралық стандарттар тұжырымдамасы негізінде мұнай тасымалдаудың технологиялық процесін басқарудың автоматтандырылған жүйесінің құрылымдық схемасының жұмыс істеу ерекшеліктері сипатталған.

[9] мақалада мұнай өнеркәсібіне қатысты процестерде кластерлік сорғы станциясының техникалық автоматтандыру құралдарын таңдау әдістемесі, оның ішінде оның технологиялық процесінің сипаттамасы, автоматтандыру жүйелерінің мақсаты мен құрылымы қарастырылады. [10] мақалада зияткерлік желінің архитектурасы және оның қосымшалары негізінен кіреберістен бастап тарату қосалқы станцияларына дейінгі бүкіл мұнай құбырына бағытталған. SCADA иерархиялық архитектурасын қолдана отырып, SMART GRID қосымшасымен байланысты бұлтты есептеу технологиясына енгізілген ақылды сенсорлардың деректерін алу арқылы мұнай құбырлары жүйесін тексеру жүзеге асырылады.

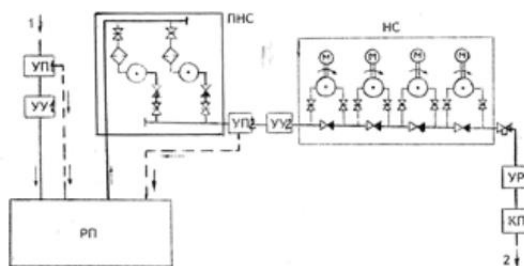
Осы сала бойынша жұмыстарға жүргізілген шолу зерттелетін тақырыптың өзектілігін көрсетеді. Осылайша **тапсырма қойылымы келесідей тұжырымдалады:** мұнай айдау станциясының автоматтандырылған басқару жүйесін құру мысалы негізінде объектілерді басқарудың интеграцияланған жүйелерін жобалау саласындағы білімді жүйелеу және тереңдету.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді орындау қажет:

- Мұнай өңдеу станцияларында (МӨС) мұнай өңдеудің технологиялық процесін зерттеу;
- МӨС автоматтандырудың құрылымдық және функционалдық сызбасын әзірлеу;
- МӨС автоматтандырылған жүйесін (АС) басқару алгоритмдерін таңдау.

## Материалдар мен әдістер

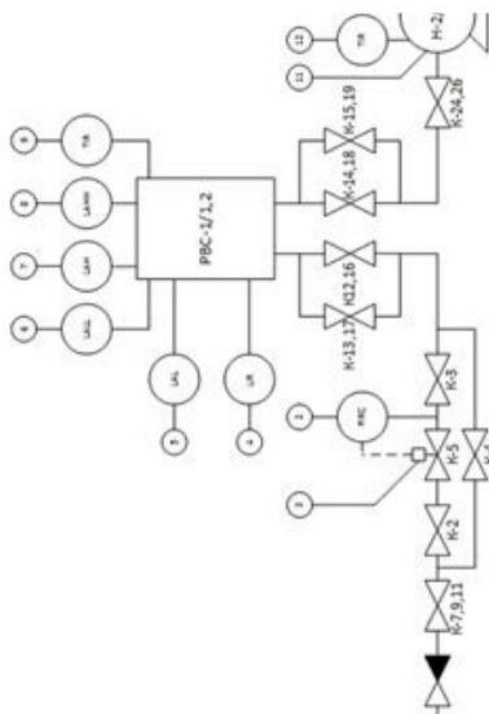
Бастапқы деректерден қажетті нәтиже алғанға дейін орындалатын жүйенің өзара байланысты іс-қимылдарын нақты анықтау үшін мұнайды өңдеу станцияларындағы (МӨС) мұнайды айдаудың технологиялық үдерісін зерттеу қажет (1-сурет).



Сурет 1. МӨС технологиялық сызбасы

Мұнайды өңдеу станцияларының технологиялық сызбасы мынадай нысандардан тұрады: сақтандыру құрылғыларының тораптары (УП1 және УП2) - станцияның құбыржолдары мен технологиялық жабдығын ондағы қысым барынша рұқсат етілген мәнге жеткен кезде қабылдау құбырынан мұнайдың бір бөлігін шығару жолымен жоғары қысымнан қорғайды; мұнайды есепке алудың коммерциялық торабы (УУ1)- кәсіпшілік пен магистральдық мұнай құбыры арасында қабылдау-тапсыру операцияларын жүзеге асыруға арналған; резервуарлық парк (РП), тіреуіш сорғы станциясы (ПНС) - станцияның қозғалтқыштары мен сорғыларын; мұнайды есепке алудың жедел торабы (УУ2) – мұнайды есепке алуды жүргізеді, магистральдық сорғы (НС), реттеу торабы (УР) - станцияның өнімділігін және оның шығуындағы қысымды реттейді; және іске қосу камерасы СОД (КП) - тазарту және диагностикалау. Барлық осы объектілер станция ішіндегі технологиялық құбырлармен өзара байланысты және біртұтас жүйені құрайды.

Бұдан әрі МӨС автоматтандырудың функционалдық сызбасы құрылды. Функционалды сызда автоматты басқару, реттеу, қашықтан басқару, дабыл жүйелері келтірілген. Басқару жүйелерінің барлық элементтері шартты кескіндер түрінде беріледі және функционалды байланыс желілері арқылы бірыңғай жүйеге біріктіріледі. Автоматты бақылау мен басқарудың функционалдық сызбасында автоматтандырылған процестің технологиялық сызбасының қарапайым бейнесі келтірілген (Сурет 2).



Сурет 2. МӨС автоматтандырылған функционалдық сызбасы

Басқарудың әртүрлі деңгейлеріндегі автоматтандырылған жүйеде әртүрлі алгоритмдер қолданылады. Бұл зерттеуде өлшеу деректерін жинау және технологиялық параметрмен автоматты реттеу алгоритмдерін құрамыз. Мысал ретінде құбырдағы қысымды өлшеу арнасын қарастырамыз. Құрылған алгоритм негізгі тоғыз қадамнан тұрады:

Қадам 1. Сенсорды (датчик) қосу және инициализациялау;

Қадам 2. Желінің үзілуі салдарынан деректерді тексеру;

Қадам 3. Егер сызықтың үзілуі болған жағдайда, онда ұзу туралы хабарлама шығады;

Қадам 4. Үзіліс болмаған жағдайда, қысқа тұйықталу жағы тексеріледі;

Қадам 5. Егер қысқа тұйықталу (ҚТ) болса, онда сәйкес хабарлама шығарады;

Қадам 6. Егер жоқ болса, онда қондырғыларды баптау жүзеге асады;

Қадам 7. Ең жоғары шекті, рұқсат етілген деңгейлер рет-ретімен тексеріледі;

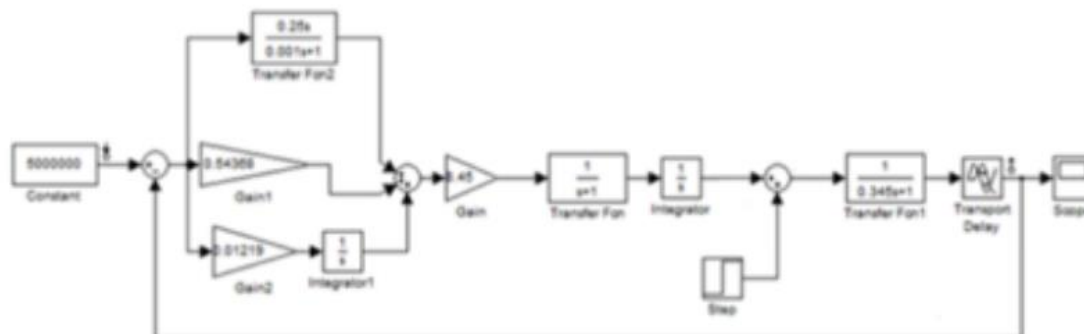
Қадам 8. Егер деңгейлердің кез- келгенін тексергеннен кейін рұқсат етілген немесе шекті деңгейден жоғары болса, онда шекті және максималды қысым туралы хабарлама шығады.

Қадам 9. Егер бәрі қалыпты болса, онда бірліктерді МПа-ға ауыстыру жүзеге асады.

Бұл алгоритм технологиялық жабдықтар мен деректер жинауды басқаруға мүмкіндік береді.

Мұнайды МӨС-на айдау үдерісінде құбыр өткізгіштегі мұнай қысымын құбыр өткізгіштің беріктік шарты негізінде белгіленген деңгейден аспайтындай және төмен түсіп кетпейтіндей жағдайды ұстап тұру қажет. Реттеу алгоритмі ретінде, режимге аз уақытты және сыртқы бұзылуларға (возмущение) сезімталдықты қамтамасыз етуге мүмкіндік беретін PID реттеудің жақсы сапасын қамтамасыз ететін реттеу алгоритмі қолданылады.

Автоматты қысымды реттеудің құрылымдық сызбасы 3-ші суретте көрсетілген.

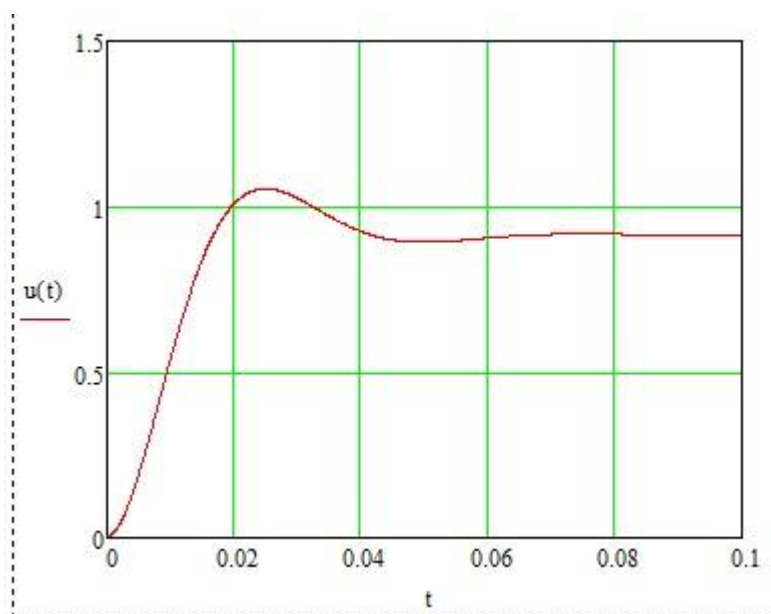


Сурет 3. Құрылымдық сызбасы

Бұл сызба келесі негізгі элементтерден тұрады: тапсырма, тапсырманы баптау, PID реттегіші, ЦАТ, реттеуші орган, басқару объектісі, бұзылыс (возмущение).

Қысымды реттеу үдерісі төмендегідей жүзеге асырылады. Басқару нысанының жұмыс істеу үдерісіне әртүрлі факторлар әсер етеді, сондықтан басқару нысанының шығыны бұзушы әсермен қорытындылануы керек. Басқару нысанының шығысындағы қорытынды қысым шығын өлшегішпен өлшенеді. Алынған сигнал ЦАТ-ге түседі және сандық түрлендіріледі. Әрі қарай, ЦАТ сигналы тапсырмамен салыстырылады. Нәтижесінде реттеу қатесі есептеледі. Қатені есептеу нәтижесі PID контроллеріне түседі, ол қатенің мәніне байланысты басқару нысанына басқару әсерін қалыптастырады. Реттеушінің басқару әсері ОАП арқылы реттеуші органға беріледі, ал реттеуші орган өз кезегінде басқару әсеріне байланысты қатені азайту мақсатында басқару нысанына әсер етеді.

АТС өтпелі үдерісінің графигін 4-суретте байқауға болады.



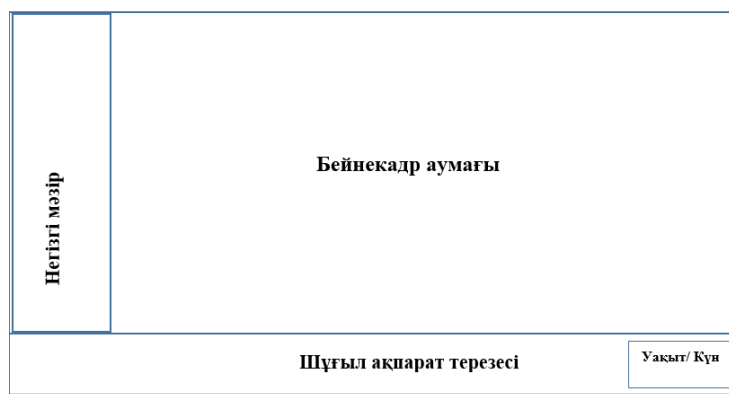
Сурет 4. Өткінші (переходной) процесс графигі

4-суреттен өтпелі уақыттың шамамен 6,97 с болатындығын көруге болады, қайта реттеу салыстырмалы түрде аз, дегенмен реттелетін шаманың күрт өзгеруі атқарушы және реттеуші механизмдерге теріс әсер етеді. Сондықтан олардың тозуын мұқият бақылау қажет.

Жүргізілген зерттеу нәтижесінде мұнай айдау станциясының жұмысын автоматтандыру негізінде басқарудың ақпараттық жүйесі құрылды.

Әрі қарай, осы жүйенің фрагменті ұсынылады. Интерфейс келесі блоктардан тұратын жұмыс терезесін қамтиды (5-сурет):

- негізгі мәзір;
- бейнекадр аумағы;
- жедел хабарлама терезесі.



Сурет 5. Жұмыс терезесі

«Негізгі мәзір» блогы. Негізгі мәзір түрлі функцияларды атқаратын индикаторлар мен түймелерден құралған.

«Бейнекадр аумағы» блогы. Бейнекадр аймағы технологиялық жабдықтың жағдайын бақылауға және осы жабдықты басқаруға арналған. Бұл блок келесі элементтерді қамтиды: негізгі технологиялық ақпаратты көрсететін мнемосхемалар; нысандар мен параметрлер режимдерін басқару және орнатудың Қалқымалы терезелері; мнемосхемалардың құрамына кірмейтін

әртүрлі технологиялық ақпаратты көрсетуге, сондай-ақ ақпаратты қолмен енгізу карталарын (тағайыншамаларды және т. б.) іске асыруға арналған кестелік нысандар.

**«Шұғыл ақпарат терезесі» блогы.** Бұл блокта шұғыл шешім қабылдау үшін Төтенше жағдайлар туралы хабарламалар шығарылады.

Құрылған жүйе жоғары икемділікке ие, ол үнемі өзгеріп, жаңарып отыруға мүмкіндік береді.

### Нәтижелер және талқылау

Жұмыста МӨС-ғы мұнай өңдеудің технологиялық үдерісі ұсынылды және зерттелді. Қажетті жабдықтардың құрамын және деректер мен сигналдарды беру арналарының санын анықтауға мүмкіндік беретін МӨС автоматтандырудың құрылымдық және функционалды схемалары жасалды. Технологиялық жабдықтар мен деректер жинауды басқару үшін технологиялық жабдықтар мен деректер жинауды басқару алгоритмдері жасалды. Қолдау сорғы станциясының шығысындағы құбырдағы мұнай қысымын ұстап тұру үшін қысымды реттеу әдісі таңдалды және қысымды автоматты реттеу алгоритмі жасалды (PID реттегіші жасалды).

Осылайша, құрылған автоматтандырылған жүйе бүкіл пайдалану уақыты аралығында артып келе жатқан талаптарға сәйкес өзгертуге және жаңғыртуға мүмкіндік беретін жоғары икемділікке ие. Сондай-ақ, SCADA-МӨС автоматтандырудың барлық деңгейлерінде пайдаланылатын пакет жүйелерді пайдалануға арналған шығындарды қысқартуға мүмкіндік береді.

Болашақ зерттеулер мұнай айдау станциясы үшін әзірленген бағдарламалық жүйені практикалық қолданумен байланысты.

### Пайдаланылған әдебиеттер

1. Еремин Н.А., Столяров В.Е. Применение интеллектуальных технологий на цифровом нефтегазовом месторождении О новой парадигме развития нефтегазовой геологии // Матер. Междунар. научнопракт. конф. – Казань: Изд-во «Ихлас», 2020. – С. 359-363.
2. Петроченков А.Б., Даденков Д.А., Поносова Л.В. К вопросу о классификации автоматизированных систем управления / [Электронный ресурс] <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-klassifikatsii-avtomatizirovannyh-sistem-upravleniya> - С. 243-255 . 22.12.2021
3. Надиров Н.К., Каширский А.И. и др. Новые нефти Казахстана и их использование: техника и технология нефтепроводного транспорта. – Алматы: Наука, 2003
4. Tynchenko V.S., Kukartsev V. V., Tynchenko V.V., Chzhan E. A., Korpacheva L.N. Automation of monitoring and management of conveyor shop oil-pumping station of coal industry enterprise // Earth and Environmental Science. – 2018. - № 194. – P. 1-6.
5. Емекеев А.А., Сагдатуллин А.М. Система автоматизации нефтеперекачивающих насосных станций магистральных нефтепроводов // Ученые записки Альметьевского государственного нефтяного института. – 2015. - Т. 1(13). – С. 317-324.
6. Kryukov O.V. Automation of oil pumping stations transport of oil products // Труды НГТУ им. Р.Е. Алексеева. – 2017. - С. 144-150. - № 3 (118).
7. Babichev S.A., Zakharov P.A. Automated monitoring system for drive motors of gas-compressor units // Automation and Remote Control. – 2011. – Т. 72. – № 1. – С. 175–180.
8. Воробьев С. В., Ипполитов В. А., Крюков О. В. Системы автоматизации электрооборудования объектов с магистральными нефтепроводами // Электрооборудование: эксплуатация и ремонт. – 2021. - №9. -С. 1-5.
9. Ling V., Lisienkova L., Deryabin I., Baranova E., Deryabina A. Automation of the production process of the cluster pumping station: justification for controller selection // ESPACIOS. –2019. - № 40. – С. 2-13.

10. Priyanka E.B., Thangave S, Xiao-Zhi Gao. Review analysis on cloud computing based smart grid technology in the oil pipeline sensor network system // Petroleum Research. – 2021. - №6. – P. 77-90.

**А.М. Ахметова<sup>1</sup>, А.С. Шаяхметова<sup>1</sup>, А.Б. Закирова<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

<sup>2</sup> *Международный университет Астана, Нур-Султан, Казахстан*

### **Совершенствование автоматизированной системы управления нефтеперекачивающей станцией**

**Аннотация.** Автоматизация технологических процессов является одним из главных факторов повышения производительности и улучшения условий труда. Все существующие и строящиеся промышленные объекты в той или иной степени оснащены средствами автоматизации. Создание эффективной автоматизированной системы управления технологическим процессом является достаточно сложной задачей. Основными способами повышения эффективности предприятий являются оптимизация и модернизация производства, снижение производственных и технологических потерь энергоносителей, повышение достоверности и скорости получения информации, необходимой для принятия управленческих решений. Автоматизированная система нефтеперекачивающей станции предназначена для автоматизации работы подсистем в реальном масштабе времени на различных режимах работы, включая управление технологическими процессами перекачки нефти, пуск и остановку. В работе предусмотрено совершенствование автоматизированной системы управления нефтеперекачивающей станцией.

**Ключевые слова:** автоматизация управления, Smart система, SCADA, датчик, сигнал.

**A.M. Akhmetova<sup>1</sup>, A.S. Shayakhmetova<sup>1</sup>, A.B. Zakirova<sup>2</sup>**

<sup>1</sup> *Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2</sup> *Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

### **Improvement of the automated control system of the oil pumping station**

**Abstract.** Automation of technological processes is one of the main factors in increasing productivity and improving working conditions. All existing and under construction industrial facilities are equipped with automation tools to one degree or another. Creating an effective automated process control system is quite a difficult task. The main ways to increase the efficiency of enterprises are optimization and modernization of production, reduction of production and technological losses of energy carriers, increasing the reliability and speed of obtaining information necessary for making managerial decisions. The automated system of the oil pumping station is designed to automate the operation of subsystems in real time at various operating modes, including control of technological processes of oil pumping and start and stop. The work provides for the improvement of the automated control system of the oil pumping station.

**Keywords:** Control automation, Smart system, SCADA, Sensor, Signal.

## References

1. Yeremin N.A., Stolyarov V.Ye. Primeneniye intellektual'nykh tekhnologiy na tsifrovom neftegazovom mestorozhdenii O novoy paradigme razvitiya neftegazovoy geologii // Mater. Mezhdunar. nauchnoprakt. konf. – Kazan': Izd-vo «Ikhlas», 2020. – S. 359-363.
2. Petrochenkov A.B., Dadenkov D.A., Ponosova L.V. K voprosu o klassifikatsii avtomatizirovannykh sistem upravleniya [Elektronnyy resurs] <https://cyberleninka.ru/article/n/k-voprosu-o-klassifikatsii-avtomatizirovannyh-sistem-upravleniya> - S. 243-255 . 22.12.2021.
3. Nadirov N.K., Kashirskiy A.I. i dr. Novyye nefti Kazakhstana i ikh ispol'zovaniye: tekhnika i tekhnologiya nefteprovodnogo transporta. – Almaty: Nauka, 2003.
4. Tynchenko V.S., Kukartsev V. V., Tynchenko V.V., Chzhan E. A., Korpacheva L.N. Automation of monitoring and management of conveyor shop oil-pumping station of coal industry enterprise // Earth and Environmental Science. – 2018. - № 194. – P. 1-6.
5. Yemekeyev A.A., Sagdatullin A.M. Sistema avtomatizatsii nefteperekachivayushchikh nasosnykh stantsiy magistral'nykh nefteprovodov // Uchenyye zapiski Al'met'yevskogo gosudarstvennogo neftyanogo instituta. – 2015. - T. 1(13). – S. 317-324.
6. Kryukov O.V. Automation of oil pumping stations transport of oil products // Труды НГТУ им. П.Е. Алексеева. – 2017. - С. 144-150. - № 3 (118).
7. Babichev S.A., Zakharov P.A. Automated monitoring system for drive motors of gas-compressor units // Automation and Remote Control. – 2011. – Т. 72. – № 1. – С. 175–180.
8. Vorob'yev S. V., Ippolitov V. A., Kryukov O. V. Sistemy avtomatizatsii elektrooborudovaniya ob'yektov s magistral'nymi nefteprovodami // Elektrooborudovaniye: ekspluatatsiya i remont. – 2021. - №9. -S. 1-5.
9. Ling V., Lisienkova L., Deryabin I., Baranova E., Deryabina A. Automation of the production process of the cluster pumping station: justification for controller selection // ESPACIOS. – 2019. - № 40. – С. 2-13.
10. Priyanka E.B., Thangave S, Xiao-Zhi Gao. Review analysis on cloud computing based smart grid technology inthe oil pipeline sensor network system // Petroleum Research. – 2021. - №6. – P. 77-90.

### Сведения об авторах:

**Ахметова А.М.** - PhD, Жасанды интеллект және Big Data кафедрасының қауымдастырылған профессор м.а., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

**Шаяхметова А.С.** - PhD, Жасанды интеллект және Big Data кафедрасының қауымдастырылған профессоры, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан.

**Закирова А.Б.** - педагогика ғылымдарының кандидаты, Астана халықаралық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

**Akhmetova A.M.** - PhD, acting Associate Professor of the Department of Artificial Intelligence and Big Data, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

**Shayakhmetova A.S.** - PhD, Associate Professor of the Department of Artificial Intelligence and Big Data, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

**Zakirova A.B.** - Candidate of Pedagogical Sciences, Astana International University, Nur-Sultan, Kazakhstan.



**A. Buranbayeva<sup>1</sup>, A. Zhussupbekov<sup>2</sup>, R. Nursafin<sup>3</sup>, K. Badashvili<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Kazakhstan Geotechnical Association, Nur-Sultan, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Moscow State University of Civil Engineering, Moscow, Russian Federation*

<sup>3</sup>*Kazakh Research and Design Institute of Construction and Architecture, Almaty, Kazakhstan*

*E-mail: 7011773434g@gmail.com, astana-geostroi@mail.ru, rnursafin@kazniisa.kz, kbadashvili@kazniisa.kz*

## **Design a Building Information Modeling (BIM) project concept in combination with foundation monitoring on the example of the Abu Dhabi Plaza construction project**

**Abstract.** With the advent of new technology in the monitoring of buildings and high-rise structures it has become possible to monitor damage and defects in existing structures and infrastructures. The need for timely detection of critical points of building structure defects through the use of sensors, as well as the lack of description tools for understanding, visualizing and documenting sensor output data increasingly encourages designers, builders and facility managers to use the capabilities of such a powerful system as the Building Information Modeling System (BIM). The primary goal of any construction project is safety for people, which can only be ensured by proper monitoring of building health, where the presentation and management of the received information about changes in the system and structure can be ensured by using BIM. The purpose of this paper is to describe the application of a distributed fiber optic strain gauge sensor system, and the possibility of integrating the data obtained from the sensors into the BIM system.

**Keywords:** building Information Modeling System, basement slab, high-rise buildings, fiber-optic sensors, civil engineering.

**DOI:** [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-23-33](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-23-33)

### **Introduction**

Over time, the condition of concrete structures and foundation slabs can deteriorate, which becomes a serious and ongoing problem for owners. Evaluation of the actual condition of deteriorated structures is important for timely identification of critical defect values and making decisions for appropriate repairs.

Due to the large number of aging infrastructures, structural health monitoring (SHM) has come to play an effective role in the operation and maintenance phase of the structural life-cycle management process.

SHM makes it easier to monitor and evaluate the properties of structures, which optimizes the cost of maintaining structures and improves their safety [1].

Structures have different reactions under different loads during their life cycle, which can be measured with SHM systems and sensors to obtain information about changed parameters and elements [2,3]. The main stages of condition monitoring are design observation and measurement, condition assessment, information management, planning and decision making, repair execution, and evaluation of repair and maintenance effectiveness [4,5].

Speed and accuracy are two key factors in assessing the condition of structures in sanitary monitoring, which will be enhanced by the use of BIM software. BIM has shown to have tremendous potential for use in the construction industry. BIM plays an important role in making SHM information accessible, practical, and understandable. It can improve the quality of stages of assessment and management of objects, in addition BIM includes tools, processes and technologies for documenting and sharing 3D digital models. This is especially important BIM is the traditional basis for describing information related to monitoring because it prepares a methodology for interdisciplinary metamodeling to qualify [6]. BIM workflows based on digital models make it easier to evaluate model

changes in real time. Efficient data management is possible by linking elements of SHM systems, such as sensors, with external sources (e.g. sensor data stored in databases) for various aspects, such as monitoring the condition of building elements [6].

BIM processes are organized into different kinds of information from different areas depending on whether these processes are coordinated with the same software, called "closed BIM", or with cross-program applications, called "open BIM" [6]. The advantage of closed BIM processes is the consistency of models with the same file format, which is usually a specific file format of a particular software vendor. On-site closed BIM processes also have disadvantages, such as some limitations and limited flexibility due to these limitations. On the other hand, industry reference classes (IFCs) support platform-independent or open BIM processes. IFC is standardized according to ISO 16739-1:2018 [7] in its current version for the description and exchange of building information models.

With the help of IFC a standard for semantic models describing construction information at all stages of the life cycle of a building was created [6]. IFC follows an object-oriented approach in which construction information is treated as a set of objects, and each object has attributes to describe it. In addition, IFC provides a set of types, functions, and rules to obtain information appropriate to the domain of interest, such as structural engineering [6].

The modeling center of the Kazakh Scientific Research and Design Institute of Construction and Architecture (KazNIISA) developed the concept of information model of the basement of Abu Dhabi Plaza and integration of data coming from sensors. Information modeling in Kazakhstan in official documents received the abbreviation TIMSO (Technology of Information Modeling of Construction Projects), although the term BIM is also used as a synonym for this concept.

BIM can facilitate the lifecycle management and monitoring of structures throughout the various phases of design, material production, layout selection, and maintenance, such as recycling and maintenance such as recycling and reuse of materials.

In general, the effectiveness of using BIM in SHM and maintenance comes down to the following as: managing and controlling SHM data, better interpretation by connecting real-time data in BIM models, and preparing a confident database for various projects.

### **Modeling and analysis systems using BIMs**

All properties of buildings, components, documentation and other parts of the structure are accessible via the BIM model. The BIM database is easily represented using the IFC standard to pass the exchange step [8]. This is a standard for interpreting data about a building or facility during construction or maintenance phases and is useful for categorizing data as a BIM model. IFC was developed so that different platforms can integrate construction information, i.e. interoperability enabling collaborative work. IFC allows the construction process to be standardized because it is an open exchange format and compatible with various applications [9]. Many researchers use BIM in SHM models to explain the benefits and limitations of existing standards.

We are faced with the task of determining the best format for saving SHM model data to a digital database through the BIM system, as this will help increase the efficiency of monitoring. In this case, it is necessary to determine what range of data obtained from the sensors will be integrated into the BIM system using the IFC standard as a tool for creating a three-dimensional digital model of the real foundation equipped with fiber optic sensors. Software that will transmit data from the recorder to the monitoring room in real time and will integrate this data with BIM requirements is the most important aspect of the project.

In order to improve the visual properties of the monitoring process, the researchers tried different software and visual programming environments. Connecting environmental sensor data to BIM via Dynamo, Arduino, and Revit APIs, integrating BIM with other tools such as building management tools to gain comprehensive control over project monitoring, and integrating BIM with a geographic information system (GIS) to better manage building information [10-12]. In addition, some maintenance

strategies have been developed to manage massive data, visualization, quality and data storage.

Visualization quality and data storage processes serve as a model for other areas of research [13].

Researchers have explored various aspects of BIM approaches to improve the quality of building design and management by increasing the speed and reliability of big data modeling with BIM, such as modeling concrete structures and optimizing sensor placement [14-20].

Of great interest is the plan for future research on integrating 4D BIM models with on-site sensor monitoring to improve the health monitoring imaging and analysis process, in addition to accounting for duration, performance and hazards in real time [15,16]. Due to the fact that these upper-dimensional models improve the quality of designs in all phases of design, maintenance, and monitoring, researchers are enthusiastic about this area of research [17].

Most of the studies cited in various parts of this paper used real-time and dynamic monitoring; however, they were categorized under these sections according to the primary purpose of each study [9, 17]. After understanding the reliability of BIM to account for static loads, researchers can use dynamic monitoring to diagnose sensor data based on the latest situation and changes in structural properties [18]. This helps researchers better understand the workings of the structure, leading to confident decision-making. There are several works in the field of structural monitoring systems in an interactive three-dimensional environment [19]. Some researchers believe that the use of data-driven technologies presents problems such as the lack of BIM approaches, the discreteness of the AEC sector, and the lack of real-world practical examples; so they worked on the parametric use of BIM for structural monitoring with time-dependent sensor data and dynamic analysis in a high-quality three-dimensional environment [20].

In this paper, a foundation slab with an integrated fiber optic sensor was considered as an example to show that the model facilitates the interpretation of data using a dynamic BIM environment. The use of this model will be the result of research to monitor the health of the foundation slab and parking area of the Abu Dhabi Plaza project (Figure 1) in Nur-Sultan city and solve the various problems encountered during operation. The main objective of this work is to solve such a problem as the dependence of integrated data into the information model of the building on the received sensor data in terms of time.

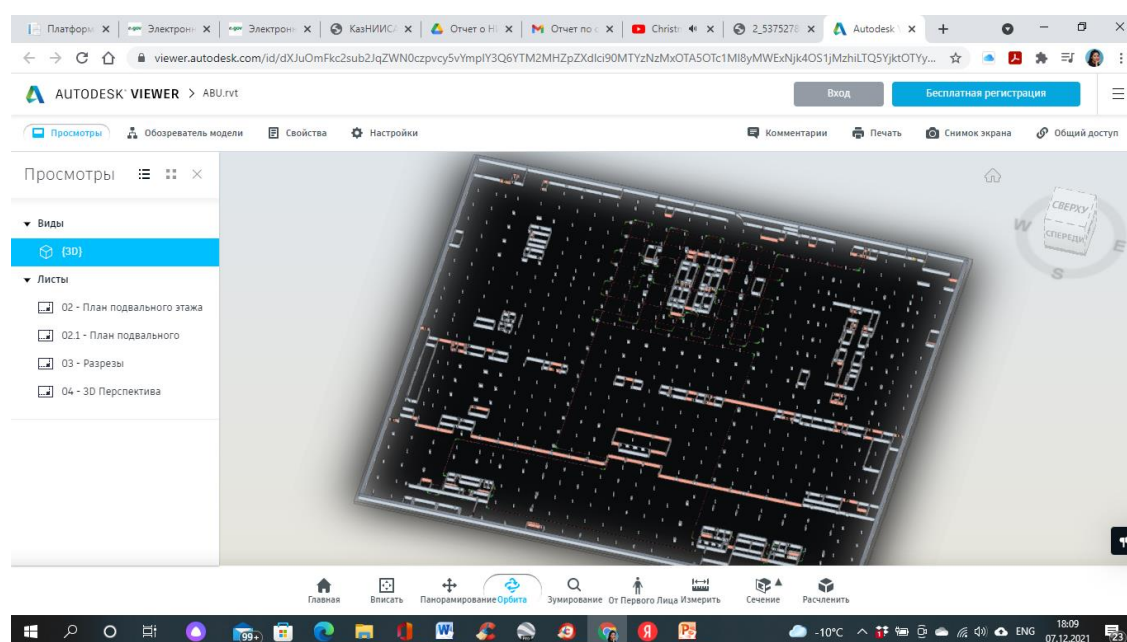


Figure 1. The foundation slab and parking area of the Abu Dhabi Plaza project

Some researchers propose to solve and remedy a similar problem in research using methods such as a combination of BIM and the Internet of Things, which would provide a dynamic data transfer and appropriate data format to show the feasibility of this method in improving safety and quality in the maintenance of structures [21-26].

As stated earlier, traditional researchers have used BIM primarily to design, monitor, and analyze new structures over their lifetime; however, the view of BIM has changed, and it has recently been used to enhance visualization to improve decision-making [27-29]. Many types of studies have encountered problems with sensor data extraction and lack of compatibility, which prevents the integration of BIM and SHM [27, 29].

Previously, some researchers have worked on using sensor output data in an IFC-based BIM model using embedded sensors; however, a number of researchers [29, 33] have conducted an online BIM modeling process to improve static BIM models from static to dynamic using real-time SHM data. Long-term monitoring of structures faced real problems in processing the large amounts of data that were added to the BIM model; however, this problem was solved by using sensor data and moving applications to dynamic mode [34]. Analysis of large amounts of data has also been facilitated by data compression techniques to deal with missing data [35].

### **Sensors and remote monitoring technologies**

Collecting real-time information about facilities, buildings and other construction-related areas is an effective way to manage construction projects.

The integration of WSN and BIM technologies improves the accuracy of hazard monitoring and energy consumption, which are major issues in lifecycle management and human safety [36, 37]. These tools are mainly aimed at reducing the cost of building maintenance by improving the accuracy of decision making based on data collection and processing. The performance of sensing technologies depends on the main purpose of monitoring and maintenance and is widely accepted among researchers to navigate equipment and building safety by considering the advantages and disadvantages of each technology. Some important types are global positioning system, encoding sensors, laser, radio frequency identification devices, audio technologies, radio detection and range, magnetic sensors, vision cameras, and Ultra-Wide Band [38, 39].

In our project the monitoring tasks are solved by the distributed fiber optic strain sensing system (DFOSS). DFOSS has been used to measure deformation in civil engineering structures for more than ten years. It is currently used worldwide to monitor a wide range of structures, including tunnels, bridges, piles, dams, embankments and diaphragm walls.

DFOSS is based on backscattering of light as it is transmitted through an optical fiber. One component of backscattered light is produced by Brillouin scattering. At any point in the fiber, the frequency of the Brillouin scattered light depends on the strain and temperature at that point. Therefore, given the effect of temperature, it is possible to determine the strain at any point in the fiber by transmitting pulses of light along the fiber and analyzing the frequency of backscattered light [40].

Compared to the use of isolated strain gauges, DFOSS offers a new paradigm for strain measurement:

- DFOSS returns a continuous strain profile along a structural element. Strain gauges can only give discrete point readings and can miss important strain changes between gauges.
- Backscatter from the optical fiber is unaffected by electromagnetic interference.
- The core of the optical fibers is made of pure silicon dioxide, which is very stable and inert. Therefore, the fibers are not susceptible to corrosion, do not contaminate the local environment and have an estimated service life of decades.
- Optical fibers can operate over a much wider temperature range than most electronic devices.
- Optical fibers are small and unobtrusive, so they are easy to integrate into both new and existing

designs.

- A complete strain profile can be reconstructed for a fiber several kilometers long, potentially replacing tens of thousands of discrete sensors. The single-cable approach greatly simplifies installation.

- As a result of ongoing development of DFOSS readers, a DFOSS system installed now can take advantage of potential enhanced measurement capabilities in the future.

Most analyzers require the installation of an additional optical fiber for temperature measurement along with the strain-sensitive fiber to eliminate the effect of temperature on the Brillouin frequency shift.

The proposed DFOSS system (considered based on a study of the foundation slab and parking area of the Abu Dhabi Plaza project) consists of a grid of fiber optic cables attached to slab B4, connected to an analyzer located in a temperature and humidity-controlled room at B1 (see Figure 2 "General Plan of Cabling on Slab B4" and Figure 3 "Partial Plan of Cabling in the Block R Monitoring Area on Slab B4").

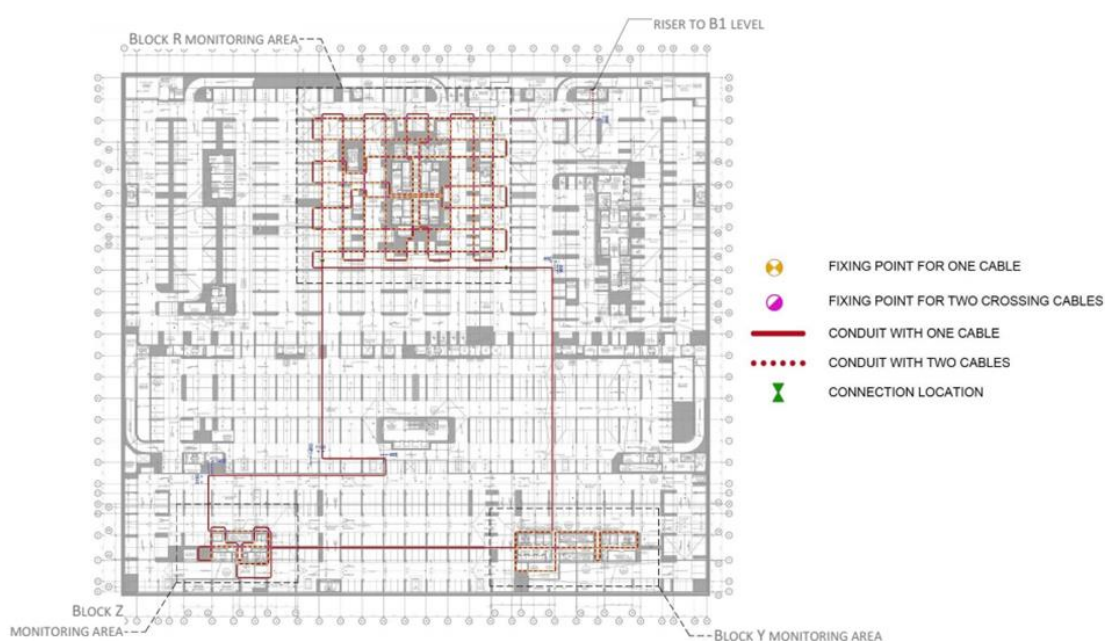


Figure 2. General plan of cable routing on B4 slab

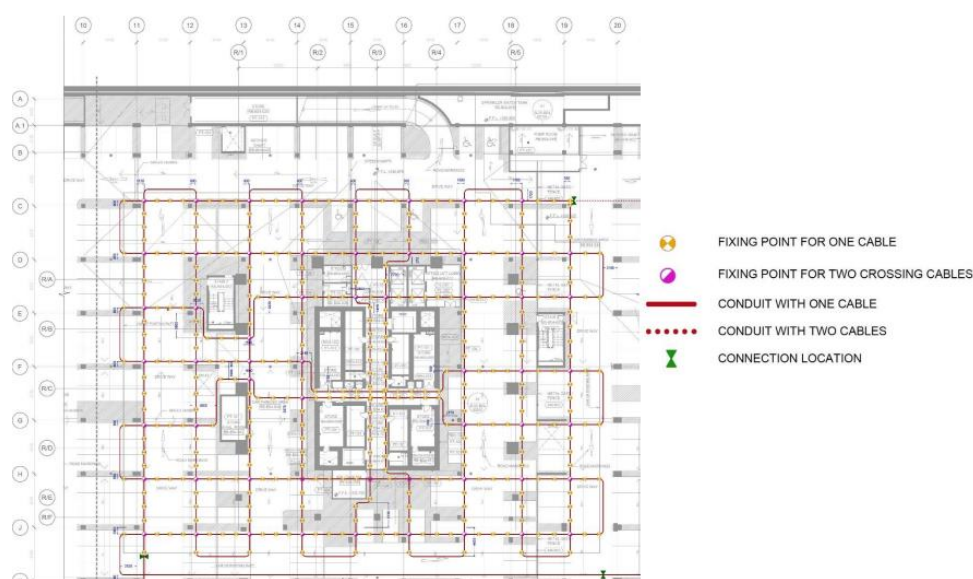


Figure 3. Part plan of cable routing in Block R monitoring area on B4 slab



In some areas, the base slab is thickened by pouring additional concrete above the level of the structural slab, and in some areas, steel mesh is poured into the thickened part to prevent surface cracking. To reduce the risk of laying cable on curvature greater than acceptable, keep the height of the cable in the thickened sections and instead adjust the depth of the channel to accommodate changes in the thickness of the slab (Figure 4).

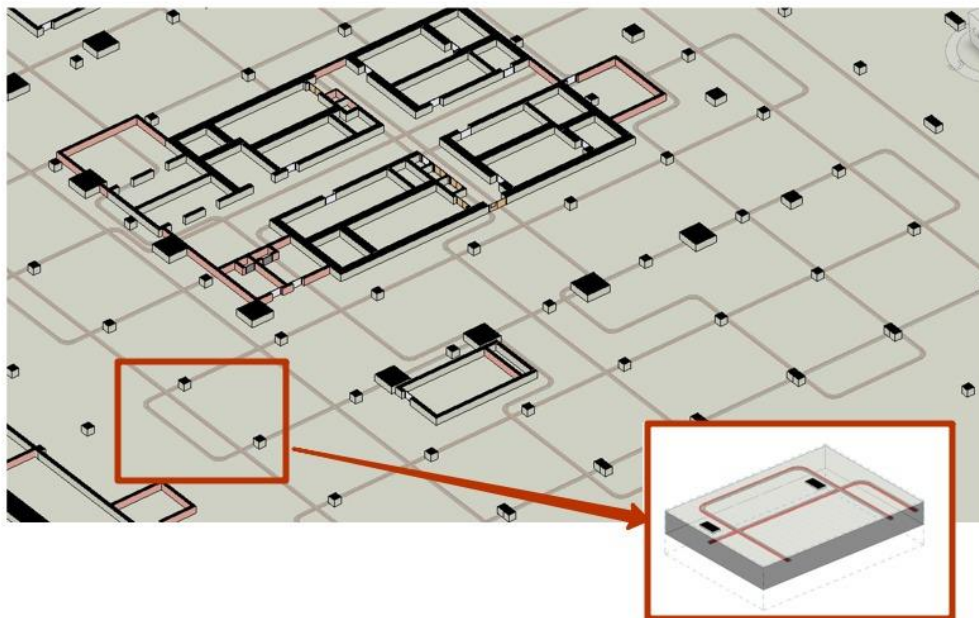


Figure 4. Cable installation in cover drain system

Creating the channel in the thickened sections will require cutting through any steel mesh that may be present, so additional time and tools should be provided for this task.

The attachment points in the controlled areas in the R, Y and Z units are shown at intervals of approximately two meters or more to create measured lengths. Of the 525 attachment points, 450 clamp one cable and the remaining 75 clamp two perpendicular cables. To clamp one or two cables, a fixture similar to the one shown in Fig. 5.

In most intersections, both cables are clamped, but in six specific intersections, namely four in the center of the R block core and two in the Y block monitoring area, the intersections are much closer than two meters. In these six locations, only one cable is clamped to avoid creating a calibration length of less than two meters.

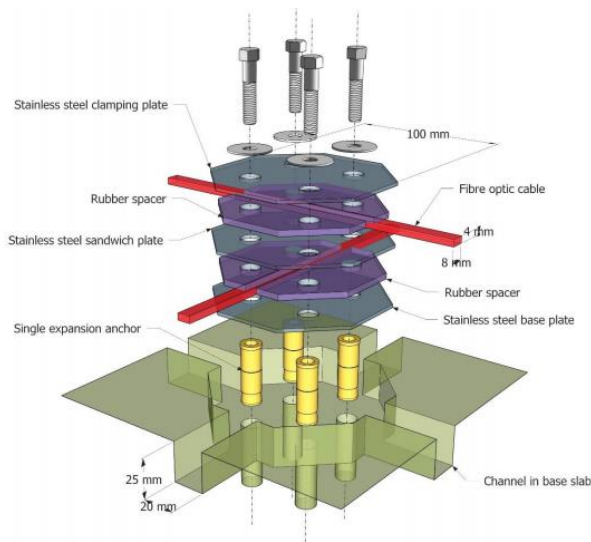


Figure 5. Conceptual design of cable fixing point (contractor to provide design)

The analyzer measures strain by transmitting pulses of light along the fiber and analyzing the frequency spectrum of the backscattered light. The optical budget of the analyzer can be increased by increasing the pulse duration, measured in nanoseconds, which reduces its attenuation. However, if the pulse duration is too long, the scattered light from the leading edge of the pulse begins to interfere with the scattered light from the trailing edge of the pulse, and the analyzer cannot distinguish one from the other. This imposes a limit on the minimum distance at which the strain value can be interpreted by the analyzer. This distance is called the spatial resolution and can be likened to the width of the averaging window for the sample point [41].

Spatial resolution up to 2 cm is achievable by some analyzers on the market, but because of the trade-off between optical budget and spatial resolution, this comes at the expense of the optical budget, which is only about 2 dB at this low spatial resolution. To achieve the required optical budget of 11 dB, the spatial resolution is typically at least 0.5 m.

Although the spatial resolution limits the minimum distance at which the strain value can be interpreted, the analyzer is still capable of taking multiple measurements at small intervals along the fiber. The smallest interval between two sampling points is called the sampling resolution and depends on the number of measurements taken by the analyzer. Cable lengths and connections as shown in Figure 6.

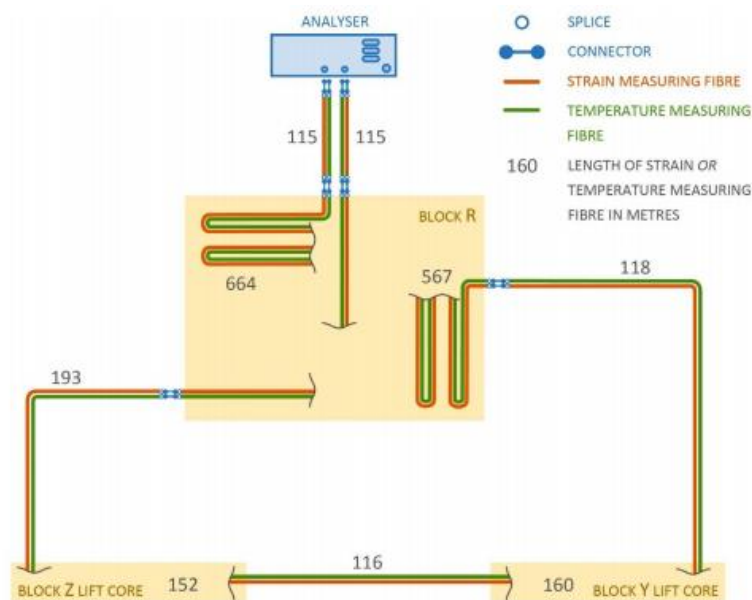


Figure 6. Schematic diagram of distributed fibre optic strain sensing system

Expansion caused by both retarded ettringite formation (DEF) and alkali-aggregate reaction (AAR) has the potential to lead to cracking in the slab. The fiber optic system must be designed to detect the formation and development of cracks and to withstand the highly localized deformations that are likely to develop in them. According to section 7.3.4 of Eurocode 2 (1), the crack width depends on the stress in the reinforcement. A numerical analysis has been performed to estimate the surface deformations and stresses in the upper part of the reinforcement caused by expansion under the action of DEF and AAR.

The numerical analysis was performed using PLAXIS 2D 2018.01. It should be recognized that the factors determining slab expansion are complex, and the computational effort required to accurately model all scenarios and interactions would not be feasible for design purposes.

The assumptions underlying the analysis have been carefully considered to provide an approximate estimate of stresses and strains, while limiting the computational effort to an acceptable level.



## Conclusion

For the first time the authors considered the possibility of combining BIM technology with real data from automated monitoring of the foundation slab of the underground parking of Abu Dhabi Plaza Complex in the soil conditions of Nur-Sultan. Combining these technologies allows us to evaluate the results of geomonitoring in real time, which will ensure the safe operation of high-rise buildings with a developed underground part of the complex engineering and geological conditions of the new capital of the Republic of Kazakhstan.

Given the novelty of this field of research, there are many gaps in all existing studies, there is no single standard for all modeling procedures. Most researchers have considered the integration of BIM and monitoring with some assumptions. Extension of the IFC scheme, optimization of sensor data under a single system and management of large amounts of data are some of the main problems that still need to be investigated in the future.

## References

1. Theiler, M.; Dragos, K.; Smarsly, K. Semantic description of structural health monitoring algorithms using building information modeling. In Proceedings of the Workshop of the European Group for Intelligent Computing in Engineering, Lausanne, Switzerland, 10–13 June 2018; pp. 150–170.
2. Delgado, J.M.D.; Butler, L.; Brilakis, I.; Elshafie, M.; Middleton, C. Structural Performance Monitoring Using a Dynamic Data-Driven BIM Environment. *J. Comput. Civil Eng.* 2018, 32, ARTN 04018009.
3. Shabani, A.; Kioumars, M.; Plevris, V.; Stamatopoulos, H. Structural Vulnerability Assessment of Heritage Timber Buildings: A Methodological Proposal. *Forests* 2020, 11, 881.
4. Agdas, D.; Rice, J.A.; Martinez, J.R.; Lasa, I.R. Comparison of visual inspection and structural-health monitoring as bridge condition assessment methods. *J. Perform. Constr. Facil.* 2016, 30, 04015049.
5. Huston, D.; Burns, D.; Razing, J. Structural health monitoring and maintenance aided by building information modelling and repair information tools. *WIT Trans. Ecol. Environ.* 2016, 204, 897–907.
6. Theiler, M.; Smarsly, K. IFC Monitor—An IFC schema extension for modeling structural health monitoring systems. *Adv. Eng. Inf.* 2018, 37, 54–65.
7. Industry Foundation Classes (IFC) for data sharing in the construction and facility management industries. ISO 16739-1:2018. 2018, 1474.
8. O’Shea, M.; Murphy, J. Design of a BIM Integrated Structural Health Monitoring System for a Historic Offshore Lighthouse. *Buildings* 2020, 10, 131.
9. Rio, J.; Ferreira, B.; Martins, J.P.P. Expansion of IFC Model with Structural Sensors. *Informes Construcción* 2013, 65, 219–228.
10. Davila Delgado, J.M.; Oyedele, L.O. BIM data model requirements for asset monitoring and the circular economy. *J. Eng. Des. Technol.* 2020, 18, 1269–1285.
11. Falorca, J.F. Main functions for building maintenance management: An outline application. *Int. J. Build. Pathology Adapt.* 2019, 37, 490–509.
12. Kensek, K.M. Integration of Environmental Sensors with BIM: Case studies using Arduino, Dynamo, and the Revit API. *Inf. Constr.* 2014, 66. [CrossRef] *Sensors* 2021, 21, 837 18 of 26
13. Vacca, G.; Quaquero, E. BIM-3D GIS: An integrated system for the knowledge process of the buildings. *J. Spat. Sci.* 2020, 65, 193–208.
14. Peng, Z. An operation and maintenance strategy of intelligent building information model data based on cloud computing. *Ing. Syst. Inf.* 2020, 25, 461–467.
15. Aram, S.; Eastman, C.; Sacks, R. Requirements for BIM platforms in the concrete reinforcement supply chain. *Autom. Constr.* 2013, 35, 1–17.

16. Bhargava, M.G.; Vidyullatha, P.; Venkateswara Rao, P.; Sucharita, V. A study on potential of big visual data analytics in construction Arena. *Int. J. Eng. Technol.* 2018, 7, 652–656.
17. Bortolini, R.; Formoso, C.T.; Viana, D.D. Site logistics planning and control for engineer-to-order prefabricated building systems using BIM 4D modeling. *Autom. Constr.* 2019, 98, 248–264.
18. Candelario-Garrido, A.; García-Sanz-Calcedo, J.; Rodríguez, A.M.R. A quantitative analysis on the feasibility of 4D planning graphic systems versus conventional systems in building projects. *Sustain. Cities Soc.* 2017, 35, 378–384.
19. Cho, C.; Park, J.; Kim, K. Automated and Optimized Sensor Deployment using Building Models and Electromagnetic Simulation. *KSCE J. Civ. Eng.* 2018, 22, 4739–4749.
20. Costa, G.; Madrazo, L. Connecting building component catalogues with BIM models using semantic technologies: An application for precast concrete components. *Autom. Constr.* 2015, 57, 239–248.
21. Zhou, Y.; Ding, L.; Wang, X.; Truijens, M.; Luo, H. Applicability of 4D modeling for resource allocation in mega liquefied natural gas plant construction. *Autom. Constr.* 2015, 50, 50–63.
22. Ghasri, M.; Maghrebi, M.; Rashidi, T.H.; Waller, S.T. Hazard-based model for concrete pouring duration using construction site and supply chain parameters. *Autom. Constr.* 2016, 71, 283–293.
23. Maghrebi, M.; Shamsoddini, A.; Waller, S.T. Fusion based learning approach for predicting concrete pouring productivity based on construction and supply parameters. *Constr. Innov.* 2016, 16, 185–202.
24. Moses, T.; Heesom, D.; Oloke, D. Implementing 5D BIM on construction projects: Contractor perspectives from the UK construction sector. *J. Eng. Des. Technol.* 2020.
25. Seem, A.; Zheng, T.; Lu, Y.; Usmani, A.; Laurenson, D. BIM integrated workflow management and monitoring system for modular buildings. *Int. J. 3-D Inf. Modeling (IJ3DIM)* 2013, 2, 17–28.
26. Baroš, T. The application of BIM technology and its reliability in the static load analysis. *Teh. Vjesn.* 2016, 23, 1221–1226.
27. Hess, M.; Petrovic, V.; Yeager, M.; Kuester, F. Terrestrial laser scanning for the comprehensive structural health assessment of the Baptistery di San Giovanni in Florence, Italy: An integrative methodology for repeatable data acquisition, visualization and analysis. *Struct. Infrastruct. Eng.* 2018, 14, 247–263.
28. Delgado, J.D.; Hofmeyer, H. Automated generation of structural solutions based on spatial designs. *Autom. Constr.* 2013, 35, 528–541.
29. Dave, B.; Buda, A.; Nurminen, A.; Främbling, K. A framework for integrating BIM and IoT through open standards. *Autom. Constr.* 2018, 95, 35–45.
30. HKhajavi, S.H.; Motlagh, N.H.; Jaribion, A.; Werner, L.C.; Holmström, J. Digital Twin: Vision, Benefits, Boundaries, and Creation for Buildings. *IEEE Access* 2019, 7, 147406–147419.
31. Kang, K.; Lin, J.; Zhang, J. BIM-and IoT-based monitoring framework for building performance management. *J. Struct. Integr. Maint.* 2018, 3, 254–261.
32. Ma, Z.; Ren, Y.; Xiang, X.; Turk, Z. Data-driven decision-making for equipment maintenance. *Autom. Constr.* 2020, 112, 103103.
33. Pasini, D. Connecting BIM and IoT for addressing user awareness toward energy savings. *J. Struct. Integr. Maint.* 2018, 3, 243–253.
34. Wang, J.; Fu, Y.; Yang, X. An integrated system for building structural health monitoring and early warning based on an Internet of things approach. *Int. J. Distrib. Sens. Netw.* 2017, 13, 1550147716689101.
35. Grilo, A.; Jardim-Goncalves, R. Value proposition on interoperability of BIM and collaborative working environments. *Autom. Constr.* 2010, 19, 522–530.

36. Liu, W.; Guo, H.; Li, H.; Li, Y. Retracted: Using BIM to Improve the Design and Construction of Bridge Projects: A Case Study of a Long-Span Steel-Box Arch Bridge Project; SAGE Publications Sage: London, UK, 2014.
37. Singh, P.; Sadhu, A. Multicomponent energy assessment of buildings using building information modeling. *Sustain. Cities Soc.* 2019, 49, 101603.
38. Cemesova, A.; Hopfe, C.J.; McLeod, R.S. PassivBIM: Enhancing interoperability between BIM and low energy design software. *Autom. Constr.* 2015, 57, 17–32.
39. Sensors 2021, 21, 837 19 of 26 58. Karan, E.P.; Irizarry, J. Extending BIM interoperability to preconstruction operations using geospatial analyses and semantic web services. *Autom. Constr.* 2015, 53, 1–12.
40. Tomasi, R.; Sottile, F.; Pastrone, C.; Mozumdar, M.M.R.; Osello, A.; Lavagno, L. Leveraging BIM Interoperability for UWB-Based WSN Planning. *IEEE Sens. J.* 2015, 15, 5988–5996.
41. A.Buranbayeva, A.Zhussupbekov and A.Omarov. Numerical analysis and geomonitoring of behaviour of foundation of Abu-Dhabi Plaza in Nur-Sultan, 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1928 012033

**А.Буранбаева<sup>1</sup>, А.Жүсүпбеков<sup>2</sup>, Р.Нурсафин<sup>3</sup>, К.Бадашвили<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Қазақстан геотехникалық ассоциациясы, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup>Мәскеу мемлекеттік құрылыс университеті, Мәскеу, Ресей

<sup>3</sup> Қазақ құрылыс және сәулет ғылыми-зерттеу және жобалау институты, Алматы, Қазақстан

**Нұр-Сұлтан қаласындағы Абу-Даби Плаза құрылыс жобасы мысалында іргетас мониторингімен үйлестіре отырып, Building Information Modeling (BIM) жобасының концепциясын жасау**

**Аңдатпа.** Ғимараттар мен көпқабатты құрылыстарды бақылауда жаңа технологияның пайда болуымен қолданыстағы құрылымдар мен инфрақұрылымдардың зақымдануы мен ақауларын бақылау мүмкін болды. Датчиктерді қолдану арқылы ғимарат құрылымы ақауларының сыни нүктелерін уақтылы анықтау қажеттілігі, сондай-ақ сенсордың шығыс деректерін түсіну, визуализациялау және құжаттау үшін сипаттама құралдарының жоқтығы дизайнерлерді, құрылысшыларды және мекеме басшыларын Building Information Modeling System (BIM) сияқты қуатты жүйесі мұндай жүйелердің мүмкіндіктерін пайдалануға барған сайын ынталандырады. Кез келген құрылыс жобасының басты мақсаты адамдардың қауіпсіздігі болып табылады, оны тек ғимараттың денсаулығын дұрыс бақылау арқылы қамтамасыз етуге болады, мұнда жүйе мен құрылымдағы өзгерістер туралы алынған ақпаратты ұсыну және басқару BIM көмегімен қамтамасыз етілуі мүмкін. Мақаланың мақсаты таратылған талшықты-оптикалық тензометрлік сенсор жүйесін қолдануды және сенсорлардан алынған деректерді BIM жүйесіне біріктіру мүмкіндігін сипаттау болып табылады.

**Түйін сөздер:** ғимараттың ақпараттық модельдеу жүйесі, жертөле тақтасы, көпқабатты үйлер, талшықты-оптикалық сенсорлар, құрылыс инженериясы.

**А.Буранбаева<sup>1</sup>, А.Жусупбеков<sup>2</sup>, Р.Нурсафин<sup>3</sup>, К.Бадашвили<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>Казахстанская геотехническая ассоциация, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Московский государственный строительный университет, Москва, Россия

<sup>3</sup>Казахский научно-исследовательский проектный институт строительства и архитектуры, Алматы, Казахстан

## **Построение концепции проекта информационного моделирования зданий (BIM) в сочетании с мониторингом фундамента на примере строительного проекта Abu Dhabi Plaza**

**Аннотация.** С появлением новых технологий в области мониторинга зданий и высотных сооружений стало возможным отслеживать повреждения и дефекты в существующих конструкциях и инфраструктурах. Необходимость своевременного обнаружения критических точек дефектов строительных конструкций с помощью датчиков, а также отсутствие инструментов описания для понимания, визуализации и документирования выходных данных датчиков все чаще побуждает проектировщиков, строителей и руководителей объектов использовать возможности такой мощной системы, как система информационного моделирования зданий (BIM). Основной целью любого строительного проекта является безопасность для людей, которая может быть обеспечена только путем надлежащего мониторинга состояния здания, где представление и управление полученной информацией об изменениях в системе и структуре может быть обеспечено с помощью BIM. Целью данной статьи является описание применения распределенной системы волоконно-оптических тензометрических датчиков, а также возможности интеграции данных, полученных с датчиков, в систему BIM.

**Ключевые слова:** система информационного моделирования зданий, подвальное перекрытие, высотные здания, волоконно-оптические датчики, гражданское строительство.

### **Information about authors:**

**Zhussupbekov A.** – Professor, Doctor of Technical Sciences, Consultant of Department of Soil Mechanics and Geotechnics of Moscow State University of Civil Engineering.

**Buranbayeva A.** – Researcher of NGO "Kazakhstan Geotechnical Association".

**Nursafin R.** - Head of the Department of Modeling and Calculation of Building Structures of the Center for Information Modeling of KazNIISA JSC.

**Badashvili K.** - Head of the Department of Methodology of Information Modeling Technology Center for Information Modeling of KazNIISA JSC.

**Жусупбеков А.Ж.** – профессор, доктор технических наук, консультант кафедры «Механики грунтов и геотехники» Московского Государственного строительного университета.

**Буранбаева А.М.** – научный сотрудник ОО «Казахстанская геотехническая ассоциация».

**Нурсафин Р.Е.** - Начальник Отдела моделирования и расчета строительных конструкций Центра информационного моделирования АО «КазНИИСА».

**Бадашвили К.Г.** - Начальник отдела Методологии технологии информационного моделирования Центра информационного моделирования АО «КазНИИСА».

G.T. Itybayeva<sup>1</sup>, G.M. Bazhenov<sup>1</sup>, A.Zh. Kasenov<sup>1</sup>,  
A.S. Yanushkin<sup>2</sup>, K.K. Abishev<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan

<sup>2</sup>Chuvash State University I.N. Ulyanov, Cheboksary, Chuvash Republic, Russia  
E-mail: galia-itibaeva@mail.ru, 777.pv@mail.ru, asylbek\_kasenov@mail.ru,  
yanyushkinas@mail.ru, a.kairatolla@mail.ru

## Processing of flat glass

**Abstract.** The article discusses the issues of sheet glass processing and provides information about the application, advantages, disadvantages and technological capabilities.

The technological parameters of waterjet processing that affect to the cutting quality: the jet speed, the grain size of the abrasive, the angle of jet inclination, the distance from the nozzle to the treated surface.

The water cutting method or waterjet cutting can significantly increase the speed and quality of material cutting. From an economic point of view, the consumption of material and energy is significantly reduced (by 20-30%), due to the use of water energy as the cutting tool in this method. The consumable material is only water and abrasive material.

By modeling, when using software, it is proved that during waterjet cutting, lower stresses are formed in the glass compared to mechanical roller cutting, thereby ensuring minimal heat generation and accurate cutting with an edge roughness of Ra 1.6 microns.

**Keywords:** waterjet processing, sheet glass, abrasive, jet, CAE.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-34-43](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-34-43)

## Introduction

The uniqueness of the waterjet cutting technology lies in the fact that it can be used to cut almost any kind of materials and is an alternative not only to mechanical, but also laser, plasma, and ultrasonic cutting, and in some cases is the only possible one.

In modern mechanical engineering, very often high requirements are imposed on the quality of metal cutting, which makes it impossible to use traditional equipment: guillotines or plasma cutting and other methods [1-5]. Cutting metal with water has been used since the 60s of the XIX century by the US aircraft company and is optimal for cutting metal, etc. high-strength materials [6, 7].

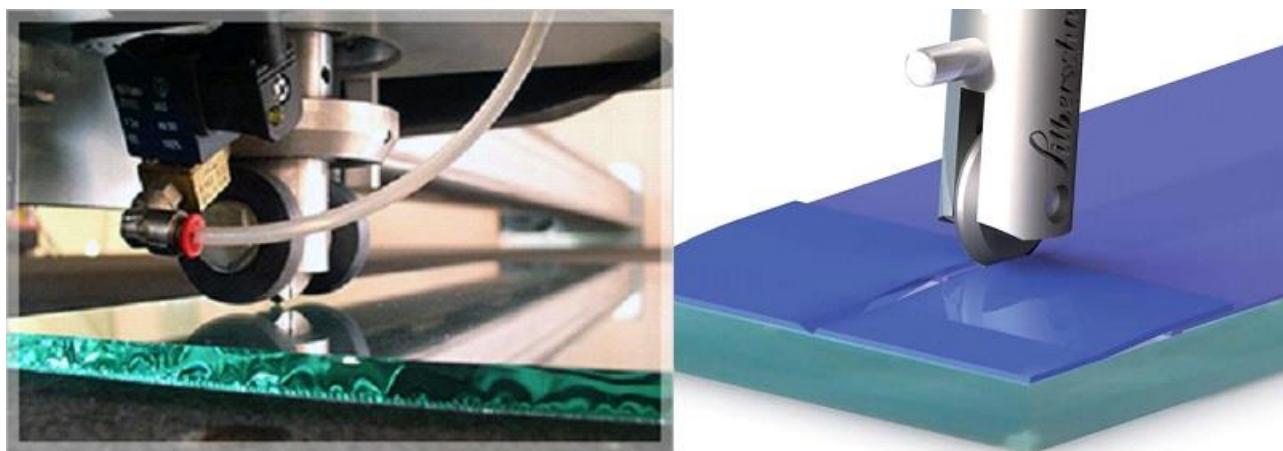
There is considerable experience in processing a complex profile by mechanical methods, ultrasound energies, plasma, laser, water jet, etc. [2, 4, 8]. They predict a high average annual growth rate of the world market of hydraulic cutting equipment [9].

When packet cutting sheets in mass production, waterjet processing is used. The expediency of using packet cutting is determined by the following advantages: the ability to cut thin-sheet parts along any contour without melting edges and warping sheets; reduction of abrasive consumption compared to cutting single sheets; high productivity; identity and accuracy of the detail shapes which cut from a one packet [10].

Despite the high productivity, the method of waterjet processing has not been sufficiently studied, which is pretty much holding back its use. The works [11-14] are aimed at studying this method and one or more technological parameters are being investigated: the speed of the jet, the size of the abrasive grain, the angle of inclination of the jet, the distance from the nozzle to the treated surface.

The most common modern technology for cutting float glass is cutting with cutting rollers (Figure 1). The glass cutting rollers have a wedge-shaped obtuse-angled section and are made of hard alloys. The sharpening angle of the used roller depends on the thickness of the glass. In this case, the cutting takes place in two stages: first an incision is made, i.e. a scratch is formed with a chain of cracks

appearing under it, and then a bending force is applied across the cutting line. Such glass cutting is the creation of microcracks in the glass under the action of a cutting roller, along which the glass then splits.



**Figure 1. Automatic cutting of glass with a cutting roller**

Various factors, such as the type of cutting tool, its position, type of glass, applied pressure, speed, glass surface quality, temperature affect the cutting quality. To perform a sufficiently good cut, the roller speed (up to 160 m/min) and its pressure on the glass must be sufficiently large and constant. These factors are interrelated: as the speed increases, the pressure should be reduced and vice versa. But the main criterion for cutting is not so much the number of fragments when applying scratches and various surface defects, as the stresses created by these defects in the glass. The deepest crack, which occurs under the action of the tensile stress created by the pressure of the cutting tool, is crucial.

### **Research methods**

In modern mechanical engineering, finishing operations have the main influence on the quality and performance of details [13-17]. The task of improving the quality of products is associated with the improvement of well-known and the development of new, effective finishing methods, among which the leading place is occupied by methods of abrasive processing. Abrasive processing allows to ensure the required accuracy and quality of details with high productivity, as well as high reliability and durability of machines during operation, therefore the role of abrasive operations in modern mechanical engineering is continuously increasing.

Waterjet processing is one of the varieties of processing details by free abrasives, allows to process shaped details that are difficult to process on machines.

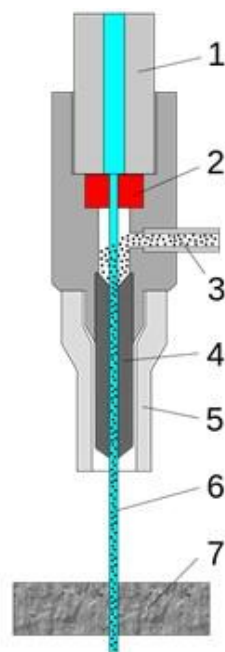
The process is insufficiently studied and the result of which is influenced by many technological parameters: cutting jet pressure, nozzle feed, grain size, hardness, abrasive consumption, distance from the nozzle to the waterjet processing surface, physical and mechanical characteristics of the processed material.

In addition to the advantages, there are disadvantages of this technology, one of which is the uneven distribution of the roughness of the cut surface along the depth of section, as well as deterioration in quality with increasing nozzle feed [13-18].

Figure 2 shows a diagram of the installation of waterjet glass cutting. Water compressed by the first main system component, the multiplier pump, to a pressure of more than 4000 atm, passes through a water nozzle forming a jet with a diameter of about 0.5 mm, which enters the mixing chamber. In the mixing chamber, the water jet "pull in" the abrasive (for example, garnet sand with particles about 0.4 mm in size) and then passes through a second, carbide nozzle with an inner diameter of 1 mm. From



this nozzle, a jet of water with an abrasive exit is poured at the speed of about 3M (about 1200 m /s) and is directed to the surface of the cutting material. Upon cutting this material, the residual energy of the jet is extinguished by a special water trap. The cutting material is usually located on the coordinate table.



1 – high pressure water supply, 2 – nozzle, 3 – abrasive feed, 4 – mixer, 5 – casing, 6 – cutting jet, 7 – cut material.

**Figure 2. Scheme of waterjet processing**

In the process of waterjet cutting the following is consumed: electricity; air; abrasive; water. The consumption of abrasive is about 300-350 g/min. As an abrasive material, it is recommended to use only a natural abrasive - garnet, which has good strength indicators. The grain size of the abrasive material should be from 200 to 600 microns.

The service life of the nozzle is about 50 hours, and the tube is 100 hours. The cutting width can be easily compensated by CNC. Thus, it will not affect the accuracy and quality of cutting [17].

The main difference that waterjet metal cutting has from other methods of cutting sheet metal is that there is no mechanical impact on the material. The absence of friction, heating of tools affects the quality of the cut and possible applications. Waterjet cutting of metal with a jet of pure water or an abrasive mixture is also successfully used for cutting the following materials: marble, granite, stone and other rocks; glass, ceramics; steels and metals, including: titanium, stainless steel; reinforced concrete; plastic, textolite, ebonite and paronite plates, rubber [7].

Cutting is carried out by a supersonic jet of water, which is obtained by concentrating the flow of water through a calibrated hole. As a result, the waterjet cutting speed is almost three times the speed of sound (810 m/s). Cutting can be with or without abrasive material, depending on the type of material being processed on a Primus 202 machine with one or two 3- or 5-axis heads to ensure maximum productivity and continuous cutting without compromising flexibility.

Due to the fact that the table is divided into two cutting zones, there is the possibility of working in a pendulum mode: unloading/loading workpieces in one part of the table while the machine is working in another part [13, 18].

Figure 3 shows samples of products made on a waterjet glass cutting machine.





Figure 3. Product samples

### Results and discussion

Precise shaped waterjet cutting of metal allows the use of machines in the production of jewelry items, decorative elements and much more. The quality of the cut and the accuracy of the figures largely depends not on the experience of the worker, but on the quality of the equipment and software:

1. A unique method of processing material using a narrowly directed water jet under pressure has found its place in many areas of production and art. One of the main advantages of the waterjet cutting method is the complete absence of chipped and heating surface which present during the usual cutting of objects.

Thanks to modern technologies and the improvement of machines, it was possible to expand their functionality and scope of application;

2. The ability to perform non-standard cutting of the material. Moreover, the change in the slope of the cut does not affect the cutting quality. The precision of metal cutting at an angle allows the use of the resulting blanks without further processing [18].

We will perform modeling and comparison of two methods of processing transparent glass with a thickness of 10 mm and a size of  $1 \times 1$  m: mechanical cutting with a cutting roller and waterjet processing.

Figure 4 shows a 3D model of mechanical glass cutting with a cutting roller.

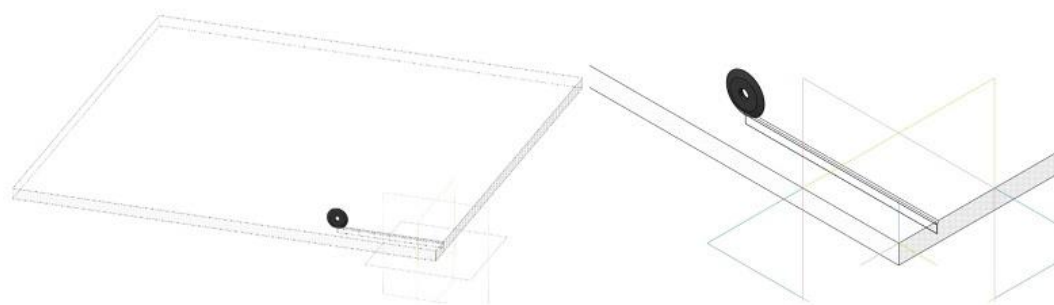


Figure 4. 3D model of mechanical glass cutting with a cutting roller

Using the resulting 3D model, we create a finite element grid and perform a static calculation, the results (equivalent Mises stress, total linear displacement, yield strength factor, strength margin factor) which are shown in Figure 5.

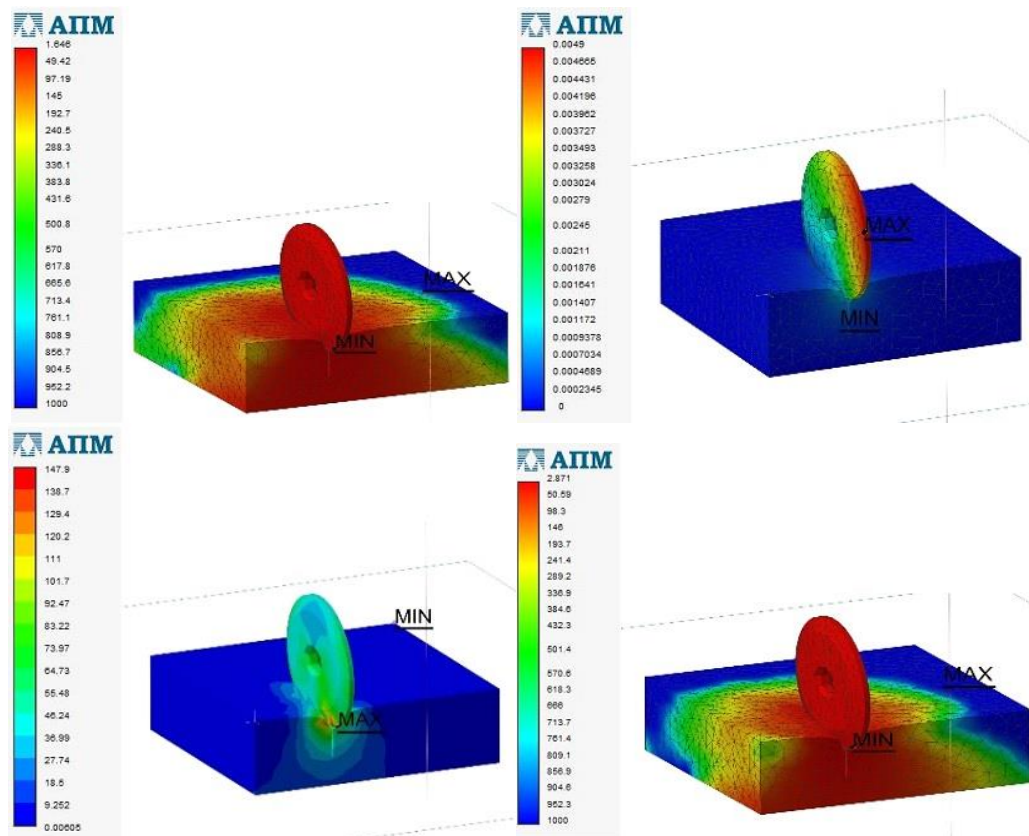


Figure 5. Results of statistical calculation of mechanical glass cutting with a cutting roller

Similarly, we will perform a statistical calculation of waterjet processing, the results (equivalent stress by Mises, total linear displacement, yield strength factor, strength margin factor) are presented in Figures 6, 7.

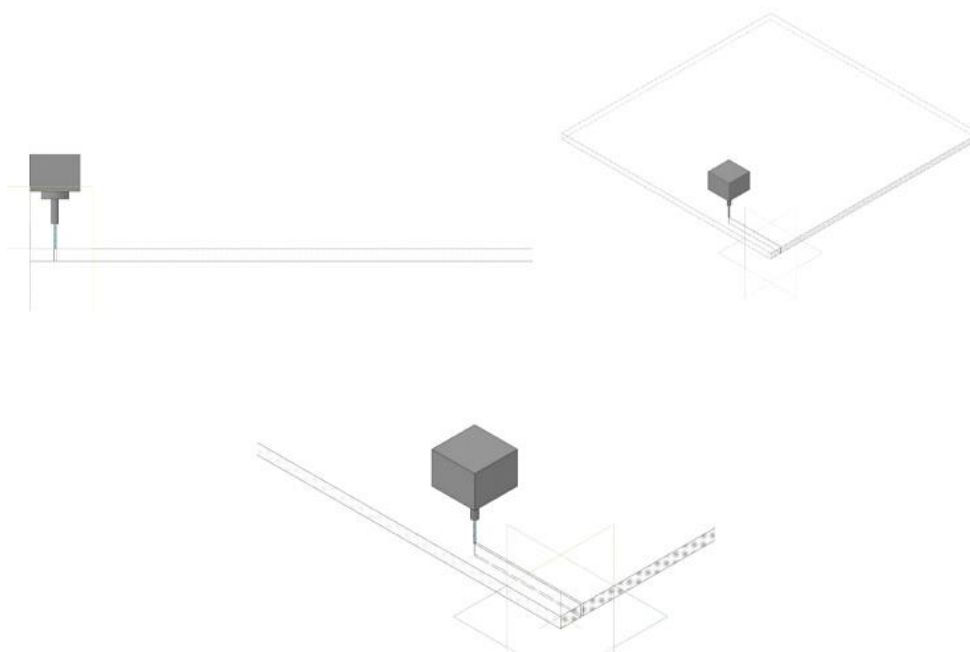


Figure 6. 3D model of waterjet glass processing

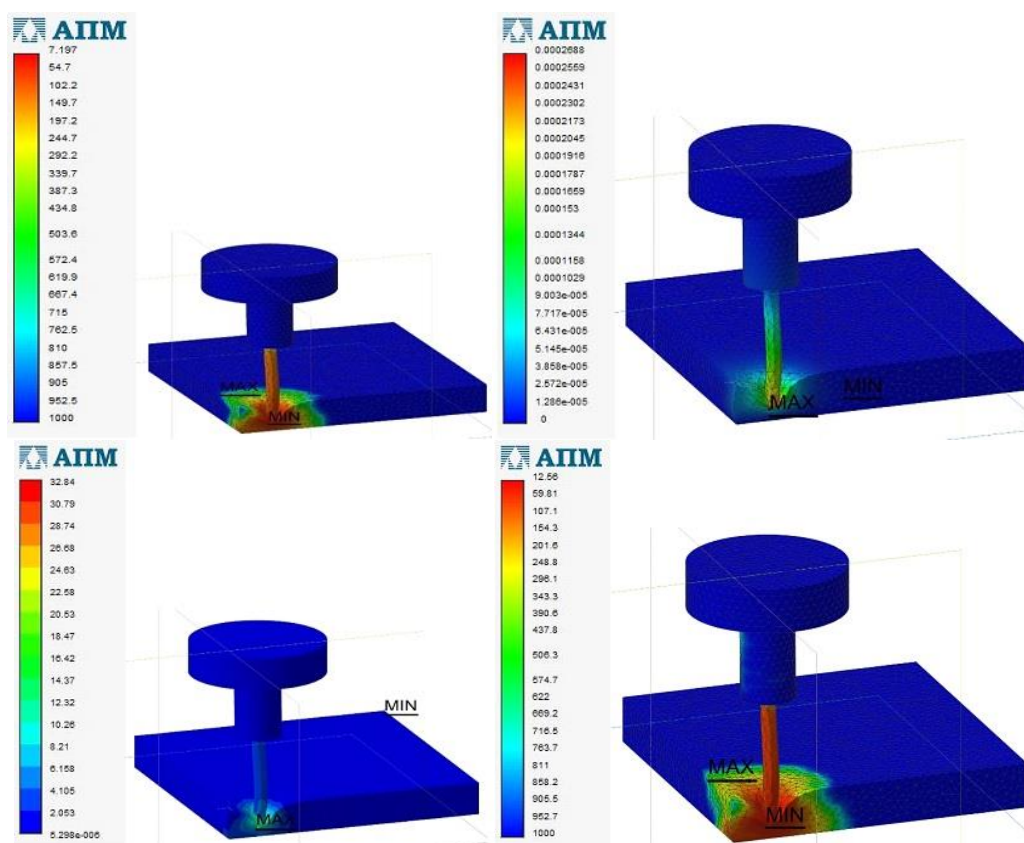


Figure 7. Results of statistical calculation of waterjet glass processing

Analysis of the results of computer modeling has shown that with waterjet cutting, less stresses are formed in the glass, i.e. a higher-quality cut and a more efficient and less marriage-forming method of cutting glass.

### Conclusion

Thus, the water cutting method or waterjet cutting can significantly increase the speed and quality of cutting the material. From an economic point of view, the consumption of material and energy is significantly reduced (by 20-30%), due to the use of water energy as a cutting tool with this method. The consumable material is only water and abrasive material.

Practice shows that this method is economical, eco-friendly, has a number of advantages: minimal heat generation ensures accurate cutting of materials; cutting speed can reach 30,000 mm/ min; accuracy and full compliance of finished products; the possibility of cutting out parts of complex shape; ordinary water can be used as a working fluid or with a small proportion of abrasive particles; no thermal effect on the material (temperature in the cutting zone 60-90 ° C); a wide range of cut materials and thicknesses (up to 200-300 mm or more); no melting and burning of the material on the edges of the machined parts and in the adjacent area; environmental cleanliness and complete absence of harmful gases; high cutting quality (edge roughness Ra 1.6 microns).

### Список литературы

1. Попелюх А.И., Тюрин А.Г., Плотникова Н.В. Перспективные способы обработки материалов. Учебное пособие – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2014. – 49 с.

2. Ablyaz T, Vil'deman V, Muratov K et al Mechanical Properties of Products after Electric-Discharge Machining // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 39. – Is. 10. – P. 892-894.
3. Dudak N, Itybaeva G, Musina Zh et al A New Pass-Through Lathe Cutter // Russian Engineering Research. – 2014. – Vol. 34. – Is. 11. – P. 705-707.
4. Zvezdin V, Khisamutdinov R, Grechishnikov V et al Laser Machining of Tool Steels // Russian Engineering Research. – 2018. – Vol. 38. – Is. 12. – P. 1038-1041.
5. Mukanov R, Kasenov A, Itybaeva G et al Face Turning of Holes // Russian Engineering Research. – 2019. – Vol. 39. – Is. 1. – P. 75-78.
6. El-Hofy H Advanced machining processes. Nontraditional and Hybrid machining processes // The McGraw-Hill Companies. – 2005. – P. 32-46.
7. Мендалиева С.И., Косатбекова Д.Ш., Акулович Л.М. Технология и оборудование гидрорезки и гидроабразивной обработки в современном машиностроении // Вестник науки Казахского агротехнического университета имени С. Сейфуллина. – 2016. – №2(89). – С. 144-153.
8. Галиновский А.Л., Тарасов В.А., Елфимов В.М. Минимизация технологической себестоимости гидроабразивного резания с учетом стоимостных и технологических параметров процесса обработки // Известия высших учебных заведений «Машиностроение». – 2011. – №4. – С. 46-54.
9. Степанова Е.Ю., Кожус О.Г., Барсуков Г.В. Инновационные технологии резания сверхзвуковой струей жидкости: экономика, рынок, состояние и перспективы развития // Вестник Брянского государственного технического университета. – 2017. – №1 (54). – С. 243-253.
10. Степанов Ю.С., Барсуков Г.В., Алюшин Е.Г. Современные технологии гидро- и гидроабразивной обработки заготовок // Научные технологии в машиностроении. – 2012. – №6. – С. 15-20.
11. Тихонов А.А. Повышение эффективности процесса гидроабразивной обработки: дис. ... кандидат технических наук : 05.02.08 / Дон. гос. техн. ун-т. – Ростов-на-Дону, 2011. – 156 с.
12. Верченко А.В., Тамаркин М.А., Кишко А.А. Исследование шероховатости поверхности реза при гидроабразивной резке // Вестник Донского государственного технического университета. – 2017. – №2 (89). – С. 116-130.
13. Смирнов М.И., Спиридонов Ю.А., Карапетян А.Р. Современные технологии резки листового стекла // Стекло и керамика. – 2011. – №1. – С. 6-10.
14. Galinovskiy A, Izotov N An experimental study of hydroerosion of surface of a chill metal under the influence of an abrasive-liquid ultra-jet // AIP Conference Proceedings. – 2021. – Vol. 2318. – Art. no 150013.
15. Dudak N, Itybaeva G, Kasenov A et al Multi-flute drill-broach for precision machining of holes // Scientia Iranica. – 2019. – Vol. 26. – Is. 3. – P. 1415-1426.
16. Popov V, Yanyushkin A, Arkhipov P Combined electric diamond grinding of materials prone to adhesive diffusive interaction // Materials Today: Proceedings. – 2019. – №11. – P. 36-41.
17. Шпилев В.В. Повышение эффективности процесса гидроабразивной резки листовых деталей путем оптимизации режимов обработки и параметров струи рабочей жидкости: дис. ... кандидат технических наук : 05.02.08 / Сарат. гос. техн. ун-т им. Гагарина Ю.А. – Саратов, 2012. – 147 с.
18. Молчанова Е.С., Бычков Н.А., Черняев С.И. Сравнение плазменного, гидроабразивного и лазерного способов резки и прошивки конструкционных материалов в радиоэлектронной промышленности // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. – 2013. – №6 (302). – С. 58-62.

Г.Т. Итыбаева<sup>1</sup>, Г.М. Базенов<sup>1</sup>, А.Ж. Касенов<sup>1</sup>, А.С. Янюшкин<sup>2</sup>, К.К. Абишев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Торайгыров университеті, Павлодар, Қазақстан

<sup>2</sup>И.Н. Ульянов атындағы Чуваш мемлекеттік университеті, Чебоксары, Чуваш Республикасы, Ресей

### Табақ шыныны өңдеу

**Аңдатпа.** Мақалада табақ шыныны өңдеу мәселелері қарастырылған және қолдану, артықшылықтар, кемшіліктер және технологиялық мүмкіндіктер туралы ақпарат берілген.

Кесу сапасына әсер ететін су абразивті өңдеудің технологиялық параметрлері: ағынның жылдамдығы, абразивтің түйіршіктілігі, ағынның көлбеу бұрышы, соплодан өңделетін бетке дейінгі қашықтық.

Сумен кесу немесе су абразивті кесу әдісі материалды кесу жылдамдығы мен сапасын едәуір арттырады. Экономикалық тұрғыдан алғанда, кесу құралы ретінде су энергиясын осы әдіспен пайдалану арқылы материал мен энергияны тұтыну айтарлықтай төмендейді (20-30% - ға). Шығын материалы тек су мен абразивті материал болып табылады.

Модельдеу арқылы бағдарламалық жасақтаманы қолдану кезінде су абразивті кесу кезінде шыныда механикалық ролигімен кесумен салыстырғанда аз кернеулер пайда болатындығы дәлелденді, осылайша минималды жылу шығаруы және жиегінің Ra 1,6 мкм кедір-бұдырымен дәл кесуді қамтамасыз етеді.

**Түйін сөздер:** су абразивті өңдеу, табақ шыны, абразив, ағын, САЕ

Г.Т. Итыбаева<sup>1</sup>, Г.М. Базенов<sup>1</sup>, А.Ж. Касенов<sup>1</sup>, А.С. Янюшкин<sup>2</sup>, К.К. Абишев<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Торайгыров университет, Павлодар, Казахстан

<sup>2</sup>Чувашский государственный университет имени И.Н. Ульянова, Чебоксары, Чувашская Республика, Россия

### Обработка листового стекла

**Аннотация.** В статье рассмотрены вопросы обработки листового стекла и приведена информация о применении, преимуществах, недостатках и технологических возможностях.

Технологические параметры гидроабразивной обработки оказывающие влияние на качество реза: скорость струи, зернистость абразива, угол наклона струи, расстояние от сопла до обрабатываемой поверхности.

Метод резки водой или гидроабразивная резка позволяют существенно увеличить скорость и качество реза материала. С экономической точки зрения, расход материала и энергии значительно понижается (на 20-30%), за счет использования при таком методе энергии воды в качестве режущего инструмента. Расходным материалом является только вода и абразивный материал.

Моделированием, при применении программного обеспечения доказано, что при гидроабразивной резке, в стекле образуются меньшие напряжения по сравнению с механической резкой роликом, обеспечивая тем самым минимальное тепловыделение и точный рез с шероховатостью кромки Ra 1,6 мкм.

**Ключевые слова:** гидроабразивная обработка, листовое стекло, абразив, струя, САЕ.



## References

1. Popelyuh A.I., Tyurin A.G., Plotnikova N.V. (2014) Perspektivnye sposoby obrabotki materialov [Promising methods of processing materials]. Uchebnoe posobie [Textbook] (SUSU Publishing House, Chelyabinsk, 49 p.) [in Russian].
2. Ablyaz T, Vil'deman V, Muratov K et al (2018) Mechanical Properties of Products after Electric-Discharge Machining, Russian Engineering Research. 2018. Vol. 39. Is. 10. P. 892-894.
3. Dudak N, Itybaeva G, Musina Zh et al (2014) A New Pass-Through Lathe Cutter, Russian Engineering Research. 2014. Vol. 34. Is. 11. P. 705-707.
4. Zvezdin V, Khisamutdinov R, Grechishnikov V et al (2018) Laser Machining of Tool Steels, Russian Engineering Research. 2018. Vol. 38. Is. 12. P. 1038-1041.
5. Mukanov R, Kasenov A, Itybaeva G et al (2019) Face Turning of Holes, Russian Engineering Research. 2019. Vol. 39. Is. 1. P. 75-78.
6. El-Hofy H (2005) Advanced machining processes. Nontraditional and Hybrid machining processes, The McGraw-Hill Companies. 2005. P. 32-46.
7. Mendaliev S.I., Kosatbekova D.SH., Akulovich L.M. (2016) Tekhnologiya i oborudovanie gidrorezki i gidroabrazivnoj obrabotki v sovremennom mashinostroenii [Technology and equipment of hydraulic cutting and waterjet processing in modern mechanical engineering] Vestnik nauki Kazahskogo agrotekhnicheskogo universiteta imeni S. Seifullina [Bulletin of Science of the Kazakh Agrotechnical University named after S. Seifullin], №2(89), 144-153 [in Russian].
8. Galinovskij A.L., Tarasov V.A., Elfimov V.M. (2011) Minimizaciya tekhnologicheskoy sebestoimosti gidroabrazivnogo rezaniya s uchetom stoimostnyh i tekhnologicheskikh parametrov processa obrabotki [Minimization of the technological cost of waterjet cutting taking into account the cost and technological parameters of the processing process] Izvestiya vysshih uchebnyh zavedenij «Mashinostroenie» [Izvestia of higher educational institutions "Mechanical Engineering"], №4, 46-54 [in Russian].
9. Stepanova E.Yu., Kozhus O.G., Barsukov G.V. (2017) Innovacionnye tekhnologii rezaniya sverhzvukovoj struej zhidkosti: ekonomika, rynek, sostoyanie i perspektivy razvitiya [Innovative cutting technologies with supersonic liquid jet: economy, market, state and prospects of development] Vestnik Bryanskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Bryansk State Technical University], №1 (54), 243-253 [in Russian].
10. Stepanov Yu.S., Barsukov G.V., Alyushin E.G. (2012) Sovremennye tekhnologii gidro- i gidroabrazivnoj obrabotki zagotovok [Modern technologies of hydro- and hydroabrasive processing of workpieces] Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii [High-tech technologies in mechanical engineering], №6, 15-20 [in Russian].
11. Tikhonov A.A. (2011) Povyshenie effektivnosti processa gidroabrazivnoj obrabotki: dis. ... kandidat tekhnicheskikh nauk : [Improving the efficiency of the process of waterjet treatment: dis. candidate of Technical Sciences]. 05.02.08. Don. gos. tekhn. un-t. Rostov-na-Donu, 2011. P. 156 [in Russian].
12. Verchenko A.V., Tamarkin M.A., Kishko A.A. (2017) Issledovanie sherohovatosti poverhnosti reza pri gidroabrazivnoj rezke [Investigation of the roughness of the cutting surface during waterjet cutting] Vestnik Donskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta [Bulletin of the Don State Technical University], №2 (89), 116-130 [in Russian].
13. Smirnov M.I., Spiridonov YU.A., Karapetyan A.R. (2011) Sovremennye tekhnologii rezki listovogo stekla [Modern technologies of sheet glass cutting] Steklo i keramika [Glass and ceramics], №1, 6–10 [in Russian].
14. Galinovskiy A, Izotov N (2021) An experimental study of hydroerosion of surface of a chill metal under the influence of an abrasive-liquid ultra-jet, AIP Conference Proceedings. 2021. Vol. 2318. Art. no 150013.



15. Dudak N, Itybaeva G, Kasenov A et al (2019) Multi-flute drill-broach for precision machining of holes, *Scientia Iranica*. 2019. Vol. 26. Is. 3. P. 1415-1426.
16. Popov V, Yanyushkin A, Arkhipov P (2019) Combined electric diamond grinding of materials prone to adhesive diffusive interaction, *Materials Today: Proceedings*. 2019. №11. P. 36–41.
17. Shpilev V.V. (2012) *Povyshenie effektivnosti processa gidroabrazivnoj rezki listovyh detalej putem optimizacii rezhimov obrabotki i parametrov strui rabochej zhidkosti: dis. ... kandidat tekhnicheskikh nauk [Improving the efficiency of the process of waterjet cutting of sheet parts by optimizing the processing modes and parameters of the working fluid jet: dis. Candidate of Technical Sciences]* 05.02.08. Sarat. gos. tekhn. un-t im. Gagarina Yu.A. Saratov, 2012. P. 147 [in Russian].
18. Molchanova E.S., Bychkov N.A., Chernyaev S.I. (2013) *Sravnienie plazmennogo, gidroabrazivnogo i lazernogo sposobov rezki i proshivki konstrukcionnyh materialov v radioelektronnoj promyshlennosti [Comparison of plasma, waterjet and laser methods of cutting and stitching structural materials in the radioelectronic industry] Fundamental'nye i prikladnye problemy tekhniki i tekhnologii [Fundamental and applied problems of engineering and technology]*, №6 (302), 58-62 [in Russian].

**Information about authors:**

**Itybayeva G.T.** – Candidate of Technical Sciences, Professor, Head of the Department of Mechanical Engineering and Standardization, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan.

**Bazhenov G.M.** – PhD student of the Department of Mechanical Engineering and Standardization, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan.

**Kasenov A.Zh.** – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanical Engineering and Standardization, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan.

**Yanushkin A.S.** – Doctor of Technical Sciences, Professor of the Department of Mechanical Engineering Technology, I.N. Ulyanov Chuvash State University, Cheboksary, Chuvash Republic, Russia.

**Abishev K.K.** – Candidate of Technical Sciences, Professor of the Department of Transport Engineering and Logistics, Toraighyrov University, Pavlodar, Kazakhstan.

**Итыбаева Г.Т.** – техника ғылымдарының кандидаты, машина жасау және стандарттау кафедрасының меңгерушісі, профессор, Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан.

**Базенов Г.М.** – машина жасау және стандарттау кафедрасының PhD докторанты, Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан.

**Касенов А.Ж.** – техника ғылымдарының кандидаты, машина жасау және стандарттау кафедрасының профессоры, Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан.

**Янюшкин А.С.** – техника ғылымдарының докторы, машина жасау технология кафедрасының профессоры, И.Н. Ульянов атындағы Чуваш мемлекеттік университеті, Чебоксары қ., Чуваш Республикасы, Ресей.

**Абишев К.К.** – техника ғылымдарының кандидаты, көлік техникасы және логистика кафедрасының профессоры, Торайғыров университеті, Павлодар, Қазақстан.

А.З. Исина, Б.Е. Озганбаева\*, Д.О. Калиев

*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан*  
*\*Автор для корреспонденции: bayan03091986@mail.ru*

## Архитектурно-пространственная организация мусульманских учебных заведений Казахстана в средневековый период

**Аннотация.** Статья посвящена изучению ряда вопросов формообразования медресе Казахстана на разных временных этапах средневекового периода. Рассматривается преимущественное значение древних медресе в структуре города и за ее пределами.

В ходе исследования изучаются тенденции проектирования медресе и вопросы формирования архитектурно-планировочных, функциональных и композиционных решений.

Принимая во внимание актуальность стратегической важности данных объектов, являющихся наследием тюркоязычных государств, в будущем это предопределило причину рассмотрения данной статьи – выявить наибольшую совокупность факторов, повлиявших на композиционное решение и стратегии организации пространств.

Исходя из этой цели, доступные архивные материалы позволили определить основные задачи исследования:

- раскрытие роли медресе как ключевой структуры исламского образования;
- исследование факторов, влияющих на процесс формообразования;
- определение специфики архитектурно-планировочной организации.

Предложена методика, которая позволяет раскрыть философское значение архитектурной композиции учебных заведений как произведения искусства. Описываются градостроительные особенности, архитектурно-художественные характеристики объектов исследования на основе поиска подходов к проектированию, где раскрывается глубокое и структурное соприкосновение идеологических взглядов ислама и тюркских традиции как в духовном плане, так и в архитектурном.

В результате выявлен основной принцип при проектировании медресе. Данный принцип указывает на то, что они были градообразующими объектами. Это позволило в дальнейшем выявить и признать основные стандарты казахской традиционной архитектуры средневекового периода.

В ходе исследования также анализируется процесс дифференциации параметров застройки и изменения объемно-планировочной структуры рассмотренных объектов. В результате выявлена группа факторов, повлиявших на эти изменения.

Выявлены оптимальные архитектурные приемы и инженерные решения в рамках организации благоприятной системы климатизации здания с учетом характерных природно-климатических условий южных, западных и центральных регионов Казахстана, которые оказали также значительное влияние на формообразование учебных заведений.

**Ключевые слова:** исламская архитектура; казахская архитектура; композиция медресе; пространство; биоклимат в медресе; закономерность строения.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-44-58](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-44-58)

### Введение

Ранний средневековый период можно обозначить расцветом арабоязычной культуры, так как этот временной этап является периодом распространения ислама на территории Казахстана. Исламская религия оказала значительное влияние на образовательный процесс, тем самым сохраняя культурные ценности и язык тюркского народа. Одновременно следует подчеркнуть, что культовое зодчество Казахстана, как и других среднеазиатских стран можно отнести к

мусульманской архитектуре в сочетании с различными архитектурными стилями, так как он несет в себе идеологический, религиозно-политический аспекты и традиционно-этнический характер. Это подтверждается в трудах К.М. Байпакова: «... не только архитектура и археологическая архитектура определяют особенности средневекового города в Казахстане, его мусульманский характер и доисламский традиционализм» [1, с. 6]. Для более глубокого понимания каким образом ислам проник в тюркоязычные страны, изучены труды Ж.Ж. Жениса [2]. Мы разделяем его точку зрения и считаем, что именно ислам сумел удачно распространиться среди тюрков, так как именно его религиозные идеи имели схожесть с религиозными идеями тенгрианства: «По своим религиозным понятиям тенгрианство имело идейную общность с исламом. Исламские нормы поведения, религиозные нормы не сильно отличались от традиционного верования тюрков. Замечательным примером исламо-тенгрианского синтеза могут служить монеты, чеканившийся Казан ханом после принятия им ислама. В этих монетах имеются шесть строк арабской надписи. Третья надпись на арабском означает «Казан Махмуд». А остальные три надписи на уйгурской письменности означает «Тангриун (Кучундур) газану (делеткейлук)», значит «С силой Тенгри чеканил Казан». А на обратной стороне монеты была надпись исламской веры «Ля иллаха иллала». [2]. Таким образом выявлены узловые точки соприкосновения культур тюркских народов и ислама, синтез которых дал свои плоды в развитии науки, культуры, образования и архитектуры Казахстана.

Принципы формирования пространства мусульманских городов, зданий и сооружений определялись различными факторами. Религия является главной составляющей. Архитектурные решения в проектировании мусульманских учебных заведений следует рассматривать с философской точки зрения, то есть подходить к рассмотрению объектов мировоззренчески, исходя из правил шариата и религии. Для зодчих того времени основным приоритетом была связь с божественным миром, все остальное являлось второстепенным.

После Таласской битвы в 751 году распространение ислама сыграло огромную роль в исламизации казахского народа. Так уже в VIII-IX веках ислам в виде его суннитского толка проник на земли тюрков, укрепился и пустил корни. С ростом количества мусульман в наиболее населенных городах началось строительство мечетей и медресе в окрестностях городищ Отрара, Туркестана, Сайрама, Тараза. Уже на протяжении только X в. количество мечетей и медресе резко умножилось. В процессе распространения ислама на северные, западные и восточные территории Казахстана мусульманские учебные заведения строились в городищах, а также в других населенных районах как главные стратегические объекты.

### Методика исследования

Данная статья является обзорной. В ходе исследовательской работы над магистерской диссертацией на тему «Композиционные приемы организации общеобразовательных школ» были проанализированы основные тенденции в проектировании учебных заведений. Для проведения более глубокого анализа в данной статье рассматриваются учебные заведения средневекового периода – этапа расцвета образования и науки в Казахстане. Выявлены структурно-геометрические закономерности архитектурного формообразования мусульманских учебных заведений. Были использованы методы исследования:

1. Теоретический. Данный метод позволил выявить глубокую связь между возникновением причин исследуемых объектов и их существованием в период данного промежутка времени.

2. Исторический. Анализ исторических объектов на базе литературных источников и архивных материалов в хронологическом порядке по времени появления объектов исследования позволил выявить структурно-геометрические закономерности архитектурного формообразования;

3. Сравнительно-сопоставительный. В ходе анализа данных объектов выявлены различия и общие черты в композиционных и архитектурно-художественных решениях, которые позволили определить их значимость в структуре расселения.

Исходя из указанной цели статьи, имеющиеся архивные материалы позволили нам определить основные задачи исследования:

- определение механизмов проявления пространственного формообразования исследуемых объектов;
- выявление принципов построения пространственной организации и формы зданий.

### Обсуждение

Медресе – религиозные учебные заведения, предоставляющие второй уровень образования после мектеб (первая ступень образования, в которой дети обучались с раннего возраста). Характерной особенностью средневековых учебных заведений это – их расположение вокруг дворика. В здании медресе или рядом обязательно присутствует мечеть и как минимум один лекционный зал. Медресе имели классные комнаты – дарис-хана, комнаты для проживания учащихся – худжры, комнаты для омовений, столовые и кухни. Анализ основных архитектурно-планировочных и конструктивных решений исследуемых объектов соответствуют описаниям в журнале Министерства Народного Просвещения (1867г.), где можно отметить особую значимость школ и медресе на территории Казахстана, о их важности и особом положении в структуре города: «Наиболее важные медресе строятся в центре города, около базара, или на главных улицах, которые идут к окраинам города, благоустроенные медресе имеют вид правильного четырехугольника, обнесенного кирпичной стеной, к внутренней стороне которой пристраиваются – худжра, или кельи для учащихся (муллы), а иногда и для учителей (муддарисы), дарис-хана, то есть классная комната, одна или несколько, и наконец мечеть. Посередине двора обыкновенно находим так называемую таарат-хану, маленькую комнату для омовения. Передний фас наружной стены принято украшать куполом, венчающим сводчатый портик над входом в медресе. Часто по углам того же переднего фаса воздвигаются небольшие башенки, служащие вместе с тем и минаретами. Кровли кельи, классных комнат и мечетей в лучших медресе сводчатые, кирпичные. Медресе эти называются хыштинь, кирпичная. Медресе с деревянными кровлями носят название чубин, деревянный. Двери и окна кельи выходят во внутренний двор медресе. Окно, впрочем, часто совсем не бывает, и свет в кельи проходит через решетчатые, оклеенные тонкой бумагой дверные фрамуги. Если обитатели худжры имеют средства на покупку углей, то в холодное время обогреваются у так называемых сандаль, или табурет, который сверху покрывается большим ватным покрывалом, под одеялом скапливается нагретый воздух, в котором греют ноги и руки» [3, с. 18].

Уровень общего образования в средневековый период схож с моделью системы образования на современном этапе, это мы видим в делении по разрядам: 1 ступень – мектеб, подготовка в училище (медресе), и 2 ступень – медресе. Данный подход в обучении говорит о структурном разделении объектов на мектеб и медресе, в котором прослеживается и планировочная структура, которая соответствует классно-урочной системе. Учащиеся делились на три разряда, или класса. А именно, первая ступень – младший разряд «адна», вторая ступень – средний разряд «аусад» и третья ступень – старший разряд «ала». В медресе отводилось должное внимание полному овладению арабским языком, логике и богословию, догматике, диалектике, метафизике, астрологии и космографии, Корану, хадисам, юридическим вопросам, математике, науке исчисления, а также медицине [3, с. 29-30].

Медресе в городище Сауран в Туркестанской области является одним из первых мусульманских учреждений на территории Казахстана, об этом писал Васифи, присутствовавший на его «открытии» в 1514 году: «... здание было построено вместо прежнего

здания, пришедшего в негодность к концу XV в.» [4, с. 160]. Здание расположено на центральной площади городища – регистане (рис. 1).

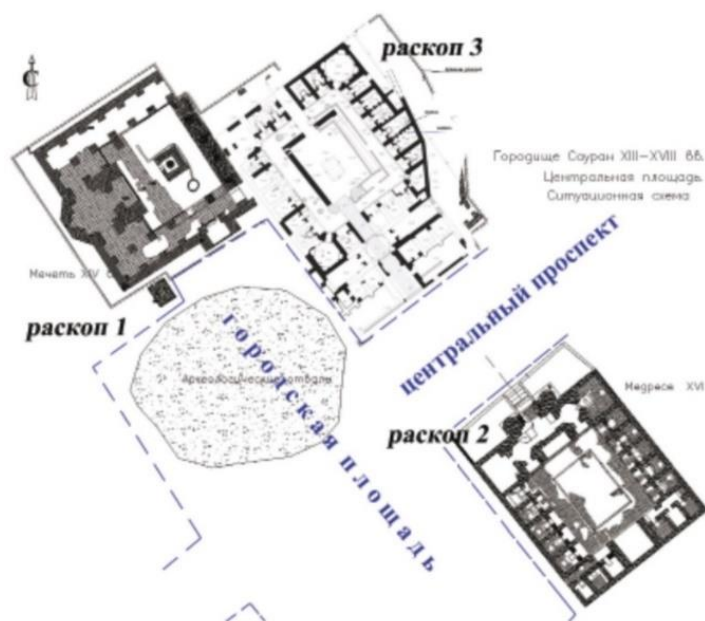


Рисунок 1. Ситуационная схема застройки Сауранского регистана

В плане медресе представляет собой симметричную прямоугольную форму в плане в 31,5×28 метров, с внутренней дворовой площадью размером 11,7 на 8,5 м. с двумя айванами смотрящих друг на друга. Главный вход, который ориентирован на северо-запад выделен айваном и двумя минаретами. По данным исследования Е.А. Смагулова медресе в планировке имел: айван (главный вход), вестибюль, восьмигранное помещение, правое восьмигранное помещение, через которое проходили в моельный зал, дарисханы (классные комнаты), кухню [5, с. 111], (рис. 2).

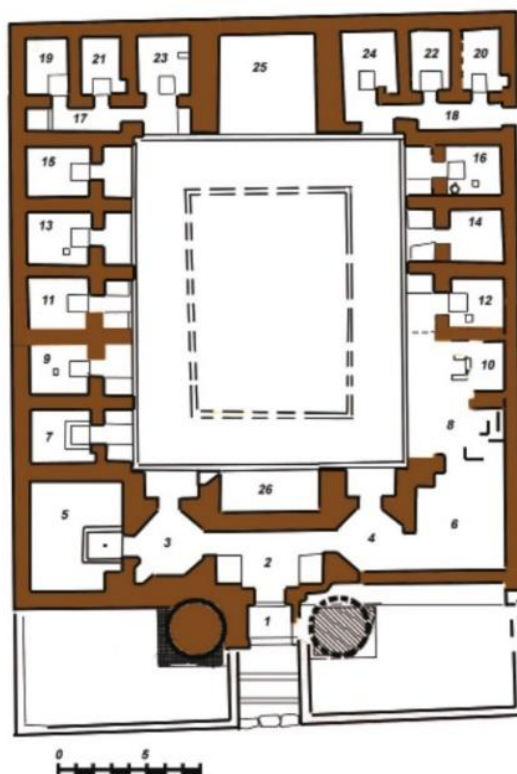


Рисунок 2. План медресе в городище Сауран. Туркестанская область



Зайнаддин Васифи писал: «На плечах (кейф) его айвана поставлены два высоких минарета необычайной высоты и крайнего благородства, и это одно из чудес мира» [4, с. 160]. Сохранилась также фотография минарета, выполненная фотографом М.К. Приоровым в 1866 г.» [3]. В заголовке фотографии была указана дата - 1866 год (рис. 3).



**Рисунок 3. Фото минаретов медресе и разрушенного портала медресе в городище Сауран, 1866 год**

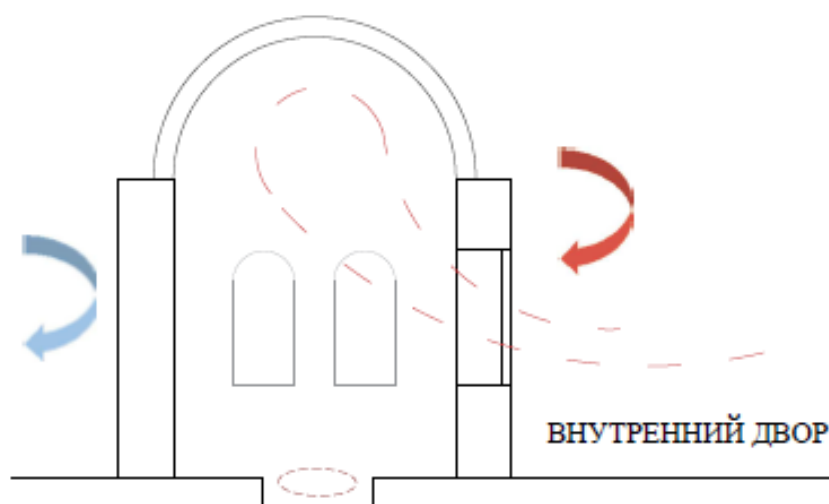
Для более точного представления принципов проектирования и архитектурно-планировочного решения следует подходить системно, требуется изучение наиболее типичных объектов исламской архитектуры. Ханака, которая расположена к северу от мечети имела такую же замкнутую дворовую планировку с порталным входом. Планировочное решение, хорошо сохранившиеся конструктивные элементы и размеры отдельных помещений очень схожи с медресе. Размеры ее 51 на 40 м. Ханаки являлись частью медресе, следовательно, частью ансамбля. Наблюдается повторяющаяся композиция галереи с арочными сводами по периметру здания, также арочный свод является повторяющимся элементом и в других помещениях (рис. 4).





**Рисунок 4. Фото восьмиугольного купольного зала ханаки и его внутреннего дворика**

Типичное расположение помещений в один ряд обеспечивает хорошее проветривание. При подобном варианте строения внутренний двор играет немаловажную роль. Замкнутый тип строения с открытой галереей типичен для регионов с жаркой сухой погодой летом и сухой холодной зимой. Данному региону характерны песчаные бури, поэтому окна и двери выходят во двор. Тепло внутри помещения сохраняется за счет значительной толщины стен и организации замкнутого внутри-дворового пространства. Летом двор также обеспечивает прохладный воздух. Высокие потолки в подкупольном пространстве обеспечивают биоклимат внутренней среды с естественной вентиляцией (рис. 5). Худжры использовались в качестве дополнительного места для разогревания ног и рук (рис. 3,4).



**Рисунок 5. Схема теплообмена в планировочном решении при организации внутреннего двора**

Медресе Баба Ата находится на территории средневекового городища Баба Ата, за селом Баба Ата в Сузакском районе Туркестанской области. Его относят к VIII веку. П-образное в плане

здание имеет композицию в прямоугольном решении с внутренним двором. Сохранились девять помещений, в том числе и дарисхана с высоким куполом и порталом с усложненной парапетной стеной и угловыми башенками. Подкупольные пространства являются центрами композиционного решения. Функционально такие помещения отводились для вероучений и лекционных занятий. Подобные помещения были равны функциям мечети, они также применялись в качестве молитвенных залов. Другие помещения перекрыты коробовыми сводами, скрытыми под плоской кровлей. Фасад с внутренней стороны решен в виде сплошной аркатуры. Стены ниш и арок прорезаны дверными проемами и окнами с решетками-панджара. Внутри хужр сохранились следы штукатурки, побелки. Фасад декорирован фигурной кирпичной кладкой. Так как левое крыло с западной стороны имеет продолжительность, вероятно, что медресе представляло собой замкнутое пространство с внутренним двором (рис. 6).



Рисунок 6. Общий вид медресе Баба Ата, село Сузак

Рассмотрим мечеть-медресе Ишан-базар. Он расположен в селе Аккойлы Туркестанской области. Датируется началом XVIII и концом XIX веков. Здание представляет собой многокамерное сооружение из нескольких больших и малых помещений, связанных между собой арочными проходами. Размеры памятника в плане 33,3 x 20,1 метров, высота 16,5



метров. В центре находился главный зимний зал из 5 куполов, прямоугольный в плане, главная часть которого расположена в подкупольном (восьмигранник в плане). Михрабная ниша расположена в центральной части западной стены. В южной и северной частях имеются две квадратные комнаты. В других частях расположены небольшие комнаты худжры с небольшими окнами, в которых проживали учащиеся медресе. Внутренние стены четверика расчленены на прямоугольные и квадратные филенки и пояса с эпиграфическим и растительным орнаментами, выполненными в технике кырма (Рис. 6). В медресе также была библиотека, ныне утраченная [6].

Показатели локальных данных в небольшом поселении говорят о масштабе здания, то есть медресе Ишан-базар меньше предыдущих рассмотренных объектов. Расположение его на возвышенности и отсутствие каких-либо объектов вблизи говорит о его доминирующем значении в структуре района.

Наблюдаются изменения в характере застройки – принцип «мечеть внутри медресе». Здесь уже наблюдается более рациональный подход в архитектурно-планировочном решении за счет объединения групп помещений медресе и мечети. Сохраняется основа композиционного приема зданий того времени – галерея и арочно-купольное решение. Здание отличается также своей центричностью и равнозначными помещениями. По типу такой прием относят к фронтальной композиции. Главный вход выделяется выступом. На главном фасаде и по двум боковым сторонам расположена галерея со столбами и арками. Метрический ритм расположения помещений придает облику здания возвышенность, которая усиливается соответствующими арочными проемами. Кладка стен характерна другим - из прямоугольных квадратных жженных кирпичей (рис. 7).

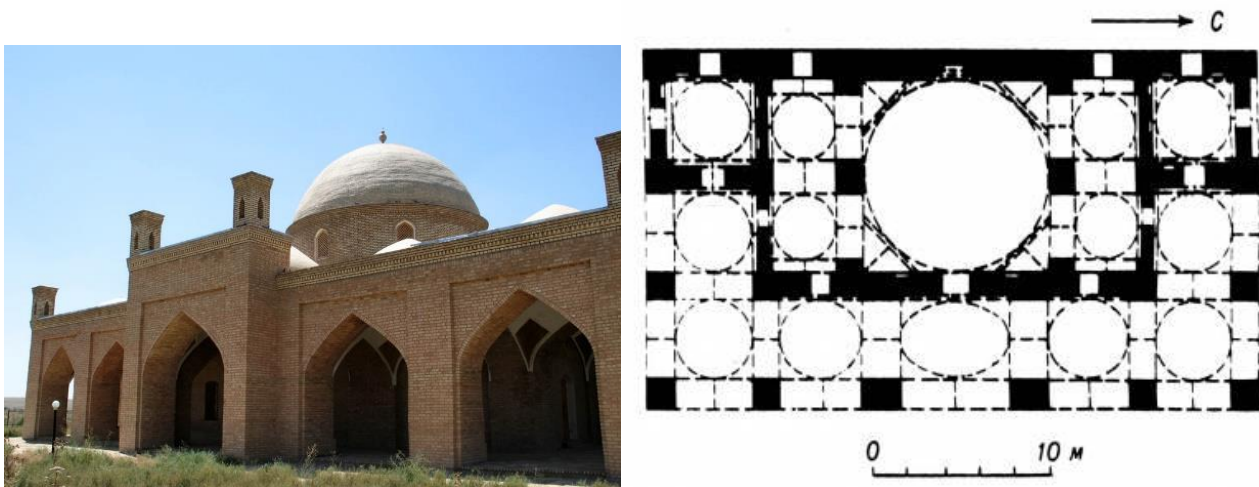


Рисунок 7. Общий вид и план медресе Ишан-Базар, село Аккойлы

Медресе Аптак Ишана расположен в Байдыбекском районе Туркестанской области. Масштаб комплекса говорит о его значимости в городской структуре. Здание в комплексе с мечетью уникальна своей архитектурой, а именно доминирующим элементом – куполом, который выделяется среди более мелких куполов, расположенных в ритмичном порядке. Всего их 35. Архитектурно-художественные характеристики здания медресе схожи с медресе Баба-Ата, расположенного в Сузакском районе Туркестанской области (рис. 8).

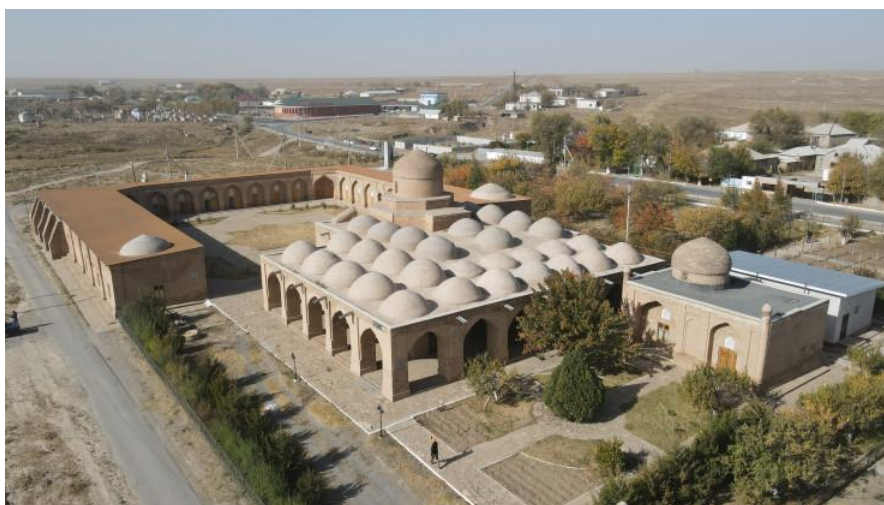


Рисунок 8. Общий вид медресе Аппак Ишана, Туркестанская область

Одной из характерных черт для медресе городского типа является организация внутренних двориков, где все оконные и дверные проемы выходили в структуру внутреннего двора, тем самым образовывая сплошную аркаду. Со временем, уже к концу XIX века социально-экономический фактор повлиял не только на горизонтальное, но и на вертикальное расширение здания. При виде на медресе Джами, расположенного в г. Шымкент наблюдаются количественные изменения: значительное наращивание площадей. Это связано с тем, что уездный центр Шымкент, где расположен данный объект, был административно-территориальным центром, а именно центром городского значения. Традиционный метод организации внутреннего двора сохраняется (рис. 9).



Рисунок 9. Общий вид медресе Джами, город Шымкент, конец XIX в.

Таким образом, благодаря вертикальному развитию появились галереи с выходом во внутренний дворик. Медресе Джами с внешней стороны фасада имеет отделку в виде ритмично расположенной аркады, имитирующей оконные проемы закрытого типа. Входная группа выделена высокой аркой высотой в два этажа. Отделочный материал – традиционный кирпич. Во внутренних дворах организовывались сады для того, чтобы создать благоприятное условие обучающимся для проведения мероприятий (рис. 10).





Рисунок 10. Общий вид медресе Джамии, город Шымкент

Во многих типах исламских зданий внутренний двор является важнейшим элементом. Он применялся во многих зданиях, таких как жилые дома, больницы, мечети и другие. Отдельные элементы, такие как дворы изучаются в социальном, экологическом, экономическом аспектах [7].

Хорошо сохранились исторические здания в таких городах, как Хива, Гиссар (Душанбе), Бухара, Самарканд, и в других восточных странах (рис. 11).



Рисунок 11. Общий вид на старый город Хива, Узбекистан, XVII- XVIII вв.

Медресе, расположенное в деревне Хереке в Турции, построенное в конце XV века имеет Г-образную форму в плане, имеет внутренний дворик. (рис. 12) [8].

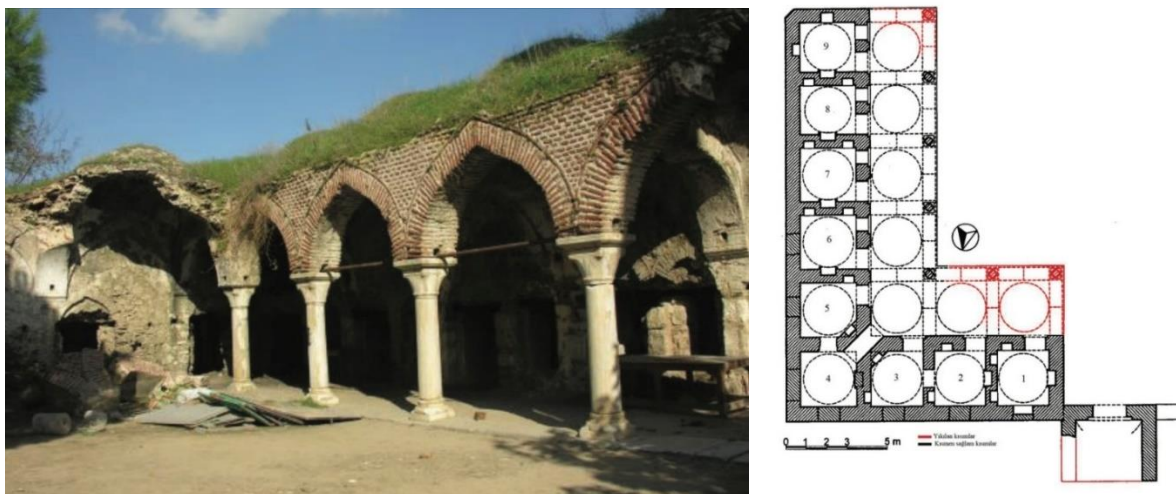


Рисунок 12. Вид на медресе с внутренней стороны и план, Дюздже (Хереке), Турция

Исламская архитектура изменила структуру города, ее урбанистическую культуру и проложила путь для улучшения общественной жизни. В период Османской империи строительство медресе продолжалось еще длительное время [9]. Подробные описания всех рассмотренных объектов, роль медресе как в развитии общества и культурной структуры, урбанистической культуры городов показывают величие цивилизации государств тюркских народов.

### Результаты исследования

В архитектуре мусульманских учебных заведений Казахстана нашли отражение характер географической среды, природы и климата местности, социальные потребности, демографический рост. В историческом развитии учебные заведения менялись в объеме строения. Основная стилистика сохранялась. Технологически, внутренний двор, как природный элемент является прототипом рекреационных зон в современных зданиях и в школах, в том числе. Метод рационального использования пространства также несет в себе историческое начало прогрессирующего в архитектурных решениях здания школ.

В ходе исследования выявлены основные факторы, которые повлияли на процесс формообразования зданий и его структуру:

- климатические условия;
- градостроительные особенности;
- архитектурно-художественные характеристики;
- социальный фактор;
- культурные ценности;
- религиозное значение;
- философское значение.

Определены типы строений, характер застройки и закономерное расположение градообразующих элементов архитектурной композиции в пространстве:

- принцип симметрии в расположении нескольких зданий в одном ансамбле;
- двор в центре застройки в симметричном построении;
- двор по периметру здания и принцип мечеть в медресе;
- двор с застройкой с трех сторон, мечеть отдельное строение.



## Выводы

1. Выявлены основные принципы казахской традиционной архитектуры средневекового периода. Они сочетают в себе арабский и местный опыт строительства, имеющий древние традиции. Характерные черты ислама с мировоззрением тюркского народа в тенгрианстве едины, ровно, как и в древней архитектуре степных народов имеют схожие приемы. К примеру, традиционная юрта имеет форму полусферы, которая олицетворяет небесный свод, отверстие в верхней части, откуда проливается свет – стремление к божеству, отсутствие окон – отказ или отчужденность от всего земного. Также и приемы в архитектурном решении медресе, такие как отсутствие окон снаружи зданий и вычурных фасадов, а также наличие замкнутых пространств в виде внутренних дворики означают отчужденность от всего земного и отказ от земных благ. Охристый оттенок придает облику города полную умиротворенность. Наличие минаретов, куполов и стрельчатых арок означают устремленность к Всевышнему. Если в европейских городах мы наблюдаем более выраженную архитектуру, где здания словно соревнуются один за другим, показывая всю свою роскошь, то в мусульманской архитектуре противоположно подобное не наблюдается. Центром планировочной организации медресе на всех этапах средневекового периода является религиозное значение.

2. Были учтены особенности среднеазиатского стиля, которые на восприятие зрителя оказывали благоприятное воздействие за счет:

- сложности использованных форм;
- теплого цвета в решении фасадов (основным строительным материалом которых использовался кирпич и глина), который олицетворяет не тронутую природу;
- выраженного декора;
- конструктивного решения арочно-купольного свода.

Медресе по своему пространственному решению вполне отражали потребности той эпохи, придерживались принципа закрытости, что отражает внутренний духовный упокоенный мир верующего человека.

3. Здания медресе преобразуются под действием разрастающихся городов. Принцип контрастности был в масштабе и высоте. Масштаб зданий зависели от месторасположения его в структуре расселения. Если это объект городского значения, он доминировал в структуре всего города. Если объект был районного значения, он доминировал соответственно в структуре района. Это говорит о том, что вокруг данного объекта формировался подцентр. Данные объекты были более массивными по сравнению с объектами, которые располагались вокруг.

4. Доминантность объекта усиливало использование куполов, которые имели не повторяющуюся среди однотипной застройки форму, а также яркую цветовую окраску архитектурных элементов.

5. Данные сооружения контрастировали по цвету куполов, если жилая застройка была в гамме теплых цветов, то в таких зданиях, как мечети и медресе использовалась гамма холодных цветов в качестве применения мозаики, декоративной плитки или росписи.

6. Закономерность формообразования отражается в архитектурно-художественной выразительности:

- метроритмические закономерности композиции и элементов архитектуры с равными интервалами между ними (купола, арки, айван и своды);
- структурность, наличие доминирующих объемов в композиции всего ансамбля (минареты, купола);
- вариативность в масштабе.

### Список литературы

1. Байпаков К.М. «Исламская археологическая архитектура и археология Казахстана». – Алматы, 2012. - С.283.
2. Женис Ж.Ж. «Идеологическая борьба в средневековых тюркских государствах и ислам (VII-XIII в.в.)» // Электронный научный журнал «edu.e-history.kz». Апрель-июнь – 2020. №1(22) URL: <https://edu.e-history.kz/ru/publications/view/228>
3. Керенский О.М. «Мадраса Туркестанского края» // Журнал «Министерство Народного Просвещения». Часть CCLXXXIV. Ноябрь. Санкт-Петербург – 1892. – С.1-3.
4. Болдырев А.Л. «Зайнабдин Васафи.- Таджикский писатель XIV в.» Сталинабад – 1957. – С.160-161.
5. Смагулов Е.А. «Застройка Центральной площади города Сауран» // Журнал «Поволжская археология». №2(16) 2016. – С.93-119.
6. Талеев Д.А. «Свод памятников Южно-Казахстанской области» // Архитектурное и археологическое наследие Южно-Казахстанской области. В рамках региональной программы «Культурное наследие». URL: <http://www.farsah.kz>
7. Almamoori, Hamza HS., 2015. The courtyard is a basic pattern in traditional Islamic architecture as a prototype. 12th International Conference on Standardization, Prototypes and Quality - A Means of Balkan Countries Collaboration pp.321-332. URL: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000380591200039>
8. Demiralp, Y., 2017. Madrasa of Hereke (Duzce) Village in Izmir/Seferihisar Sanat Tarihi Dergisi- Journal of art History 117-129. doi: 10.29135/std.300327
9. İstek, G., 2019. 17. ve 20. Yüzyıllar Arasında Arşiv Belgelerine Yansıyan Antalya Medreseleri. Cumhuriyet İlahiyat Dergisi 103–125. doi:10.18505/cuid.520904

**А.З. Исина, Б.Е. Озганбаева, Д.О. Калиев**

*Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан*

#### **Ортағасырлық Қазақстандағы мұсылмандық оқу орындардың сәулеттік кеңістіктерінің ұйымдастырылуы**

**Аңдатпа.** Мақала ортағасыр кезеңдеріндегі Қазақстан медреселерінің қалыптасу мәселелерін зерттеуге арналған. Ежелгі медреселердің қала құрылымындағы және одан тыс жерлердегі басымдылығы қарастырылады.

Зерттеу барысында медреселерді жобалау тәсілдері, сәулеттік жоспарлауды қалыптастыру мәселелері, функционалды және композициялық шешімдер зерттеледі.

Түркітілдес мемлекеттердің мұрасы болып табылатын бұл объектілердің стратегиялық маңыздылығының өзектілігін ескере отырып, мақаланың зерттеу мақсатын, яғни кеңістіктерді ұйымдастырудың композициялық әдістеріне әсер еткен факторлардың негізгі топтарын анықтауына әкелді.

Осы мақсатқа сүйене отырып, қарастырылған мұрағаттық материалдар зерттеудің негізгі міндеттерін анықтауға мүмкіндік берді:

- медресенің исламдық білім берудің негізгі құрылымы ретіндегі рөлін ашу;
- пішіндеу процесіне әсер ететін факторларды талдау;
- сәулеттік жоспарлау ұйымының ерекшеліктерін анықтау.

Ұсынылған әдістеме өнер туындысы болып табылатын оқу орындары сәулеттік

композициясының философиялық мәнін ашуға мүмкіндік береді. Зерттеу объектілерінің қала құрылымындағы ерекшеліктері мен сәулеттік-көркемдік сипаттамалары медреселерді жобалау тәсілдерін іздестіру негізінде сипатталған. Жобалау тәсілдерін іздестіру негізінде зерттеу нысандарының қала құрылысы ерекшеліктері, сәулет-көркемдік сипаттары сипатталып, ислам дінінің дүниетанымдық көзқарастары мен түркі дәстүрлерінің рухани және сәулеттік байланысы ашылады.

Нәтижесінде, медреселерді жобалаудағы негізгі принцип анықталды. Бұл принцип олардың қала құраушы объектілері болып табылатынын көрсетеді. Кейіннен ортағасырлық кезеңдегі қазақтың дәстүрлі сәулет өнерінің негізгі принциптерін одан әрі анықтауға мүмкіндік берді.

Зерттеу барысында ғимарат параметрлерінің дифференциациялану процесі мен қарастырылатын объектілердің ғарыштық жоспарлау құрылымының өзгеруі талданды. Нәтижесінде, осы өзгерістерге әсер еткен факторлар тобы анықталды.

Қазақстанның оңтүстік, батыс және орталық өңірлерінің табиғи-климаттық жағдайында ғимараттың қолайлы ауаны кондиционерлеу жүйесін ұйымдастырудың оңтайлы сәулеттік әдістері мен инженерлік шешімдері анықталды, бұл оқу орындарының қалыптасуына айтарлықтай әсер етті.

**Түйін сөздер:** ислам сәулет өнері; қазақ сәулет өнері; медресенің құрамы; кеңістік; медреседегі биоклимат; құрылымның заңдылығы.

**A.Z. Issina, B.E. Ozganbayeva, D.O. Kaliyev**

*L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

### **Architectural and spatial organization of Muslim educational institutions in Kazakhstan in the medieval period**

**Abstract.** The article is given to consider the issues of madrasahs in Kazakhstan at diverse time stages of the medieval period. The overwhelming significance of old madrasahs within the structure of the city and past is considered.

The study is analyzing inclinations within the plan of madrasahs, issues of arrangement of architectural arranging, utilitarian and compositional arrangements.

Taking under consideration the pertinence of the strategic importance of these objects which are the legacy of the Turkic-speaking states, within the future, it foreordained the reason of the consideration of this article - to recognize the most bunches of factors that affected the compositional strategies of organizing spaces.

Based on this purpose, the accessible chronicled materials made it conceivable to decide the objectives of the study:

- uncovering the part of madrasah as a key structure of Islamic education;
- investigation of the components affecting the method of shaping;
- assurance of the specifics of the building and arrange

We advertised the strategy to uncover the philosophical meaning of the structural composition of instructive teaches as a chunk of craftsmanship. The town-planning highlights, structural and imaginative characteristics of the objects of the investigation are described based on the hunt for approaches to the plan of madrasahs where the contact of the ideological views of Islam and the Turkic conventions, both profoundly and structurally is revealed.

As a result, the essential guideline within the plan of madrasahs was uncovered. This guideline demonstrates that they were city-forming objects. This made it conceivable to assist recognize the essential standards of Kazakh conventional design of the medieval period.

The method of the research moreover analyzes the method of separation of building parameters and changes within the space-planning structure of the objects beneath thought. As a result, a bunch of

variables that influenced these changes is determined.

The best structural methods and building arrangements within the organization of a favorable discuss conditioning framework of a building beneath the characteristic and climatic conditions of the southern, western and central locales of Kazakhstan have been distinguished which moreover had a noteworthy impact on the arrangement of instructive institutions.

**Keywords:** islamic architecture; Kazakh architecture; composition of madrasah; space; bio climate in madrasah; regularity of the structure.

### References

1. Bajpakov K.M. «Islamskaya arheologicheskaya arhitektura i arheologiya Kazahstana» [«Islamic archaeological architecture and archeology of Kazakhstan»]. – Almaty, 2012. - P.283. [in Russian].
2. ZHenis ZH.ZH. «Ideologicheskaya bor'ba v srednevekovyh tyurkskih gosudarstvakh i islam (VII-IIIv.v.)» [Ideological struggle in medieval Turkic states and Islam (VII-XIII c.)], Elektronnyj nauchnyj zhurnal [Electronic scientific journal] «edu.e-history.kz». April-june' – 2020. №1(22) Available at: <https://edu.e-history.kz/ru/publications/view/228> [in Russian].
3. Kerenskij O.M. «Madrasa Turkestanskogo kraja» [Madrasah of the Turkestan region], Zhurnal «Ministerstvo Narodnogo Prosveshcheniya» [Journal «Ministry of Public Education»]. P. CCLXXXIV. November. Saint Petersburg, 1892, P.1-3. [in Russian].
4. Boldyrev A.L. «Zajnaddin Vasifi. Tadhikskij pisatel' XIV v.» [Zainaddin Wasifi. Tajik writer XIV century]. Stalinabad, 1957, P.160-161. [in Russian].
5. Smagulov E.A. «Zastrojka Central'noj ploshchadi goroda Sauran» [Development of the central square of the city of Sauran], Zhurnal «Povolzhskaya arheologiya» [Journal «Volga archeology»]. №2(16) 2016, P.93-119. [in Russian].
6. Taleev D.A. Svod pamyatnikov YUzhno-Kazahstanskoj oblasti. [The collection of monuments of the South Kazakhstan region], Arhitekturnoe i arheologicheskoe nasledie Yuzhno-Kazahstanskoj oblasti. V ramkah regional'noj programmy «Kul'turnoe nasledie» [Architectural and archeological heritage of the South Kazakhstan region. Within the framework of the regional program «Cultural Heritage»]. Available at: <http://www.farsah.kz> [in Russian].
7. Almamoori, Hamza HS., 2015. The courtyard is a basic pattern in traditional Islamic architecture as a prototype. 12th International Conference on Standardization, Prototypes and Quality - A Means of Balkan Countries Collaboration pp.321-332. URL: <https://www.webofscience.com/wos/woscc/full-record/WOS:000380591200039>
8. Demiralp, Y., 2017. Madrasa of Hereke (Duzce) Village in Izmir/Seferihisar Sanat Tarihi Dergisi- Journal of art History 117-129. doi: 10.29135/std.300327
9. İstek, G., 2019. 17. ve 20. Yüzyıllar Arasında Arşiv Belgelerine Yansıyan Antalya Medreseleri. Cumhuriyet İlahiyat Dergisi 103–125. doi:10.18505/cuid.520904

### Сведения об авторах:

**Иссина А.З.** – И.о. доцента, PhD, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана 13, Нур-Султан, Казахстан.

**Озганбаева Б.Е.** - Магистрант, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана 13, Нур-Султан, Казахстан.

**Калиев Д.О.** – Старший преподаватель кафедры иностранной филологии, Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, ул. Кажымукана 13, Нур-Султан, Казахстан.

**Issina A.Z.** - Associate professor, PhD, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukhan str., 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

**Ozganbayeva B.E.** - Master degree candidate, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukhan str., 13, Nur-Sultan, Kazakhstan.

**Kaliyev D.O.** - Senior teacher, department of foreign philolog, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Kazhymukhan str., 11, Nur-Sultan, Kazakhstan.

М.Т. Мурсалькова<sup>1</sup>, М.М. Какимов<sup>2</sup>, А.Л. Касенов<sup>1</sup>,  
Д.Р. Орынбеков<sup>3</sup>, Ж.Х. Тохтаров<sup>1</sup>, Б.М. Искаков<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Университет имени Шакарима г. Семей, Семей, Казахстан

<sup>2</sup> Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, Нур-Султан, Казахстан

<sup>3</sup> Евразийский национальный университет имени Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

E-mail: maigul\_85@mail.ru, muhtarbek@mail.ru, baissemey@bk.ru

## Технологическая линия для производства сафлорового масла в минипроизводстве

**Аннотация.** Данная статья посвящена разработке малогабаритной технологической линии для отжима масла из семян сафлора в малых предприятиях зерноперерабатывающей промышленности. Изложена актуальность масложировой отрасли, в том числе признаки возросшей популярности сафлорового масла в Казахстане и в мире. Достижению высокого качества конечного продукта непосредственно способствует очистка сафлора от примесей и шелухи. Ключевыми недостатками известных линии являются громоздкость конструкции, значительные материальные затраты и энергозатраты, что делает невозможным применение оборудования в условиях минипроизводственных цехов.

Для решения данной проблемы предложена технологическая линия в составе шелушитель-пресса оригинальной конструкции для отделения шелухи от ядра и прессования масличного сырья, что обеспечивает получение высококачественного и биологически ценного продукта. Предложенная технологическая линия производства сафлорового масла заключается в снижении материальных и энергозатрат в условиях минипроизводства получения масла прессованием, повышение удобства эксплуатации без снижения качества получаемого масла.

**Ключевые слова:** технологическая линия, шелушитель, пресс, сафлор, растительное масло, отжим, шелуха, ядро.

DOI: [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-59-66](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-59-66)

### Введение

С целью удовлетворения потребностей внутреннего рынка, в последнее время Правительство Республики Казахстан принимают меры по расширению посевных площадей масличных культур для получения растительного масла [1].

Сафлор является одним из этих масличных культур. История данной сельскохозяйственной культуры очень богатая, ее лепестки использовали для получения красителя, а семена для масла.

Масло из сафлора ценный продукт растительного происхождения, его химический состав позволяет использовать в производстве пищевой продукции, в лечебных и косметических целях, а также в получении биотоплива. При учете, всех достоинств таких как, биологическая ценность, богатый состав витаминами и фосфолипидами, в настоящее время, производство сафлорового масла является актуальной целью [2].

Разработка получения растительных масел включает многосторонние воздействия на перерабатываемые масличные культуры. Веское место в технологические процессы занимают механические процессы. Такие процессы, как очистка зёрен от примесей, разрушение и отделение плодовых и семенных оболочек от эмбриона и эндосперма – ядра, измельчения ядра и промежуточных продуктов его переработки, являются предпочтительно механическими, подготавливающими материал к насыщенным физико-химическим превращениям [3].

В нынешнем производстве одним из главных технологий производства сафлорового масла

является метод прессования. Конструкция современных прессов выполняется для прессования масла отдельных культур, перенастройка данного оборудования на иную культуру очень трудоемка, и имеется вероятность малоэффективного отжима масла. Данный факт представляется неприемлемым в критериях производств малой мощности, необходим универсальный пресс для отжима из низко и высоко-масличных культур.

### Объекты и методы исследования

Объектом исследования является зерно масличной культуры - сафлор, его физико-механические свойства, аэродинамические параметры.

Предметом исследования является процесс отделения шелухи от сафлора, прессования масличного сырья, а также очистка масла от механических примесей методом центрифугирования с помощью совмещения процессов шелушения, прессования, фильтрации и отстаивания.

### Результаты и их обсуждение

На основе результатов теоретического и экспериментального исследований работ процесса получения сафлорового масла разработана технологическая линия переработки обозначенной масличной культуры.

Разработанная линия состоит из бункера для очищенных семян сафлора, шелушитель-пресса, центрифуги для фильтрации и отстаивания, гидрататора, нейтрализатора, вакуум-промывного аппарата, дезодоратора, приемника для рафинированного дезодорированного масла, вакуум-насоса, парогенератора, теплогенератора, фильтр-пресса.

Семена сафлора поступают в бункер-накопитель, где должны соблюдаться все режимы и параметры хранения (температура, влажность и т.д.). Зерно сафлора из бункера через дозатор подается на транспортер и взвешивается на автоматических весах. Далее семена сафлора поступают в шелушитель-пресс где очищаются от тяжелых и легких примесей. Очищенные семена поступают на специальный вентилятор-сепаратор, где отделяются от шелухи и проходят еще одну стадию очистки. После очистки семена подаются в шнековый пресс для извлечения масла [4].

После отжима масло очищается от различных механических примесей, т.е. проходит процессы первичной очистки. Первичная фильтрация осуществляется фильтро-отстойным оборудованием. Обычно предварительно отжатое масло осаждают в конденсаторе для удаления крупных механических примесей (15-20 минут, количество нежировых примесей 10% до отстаивания, 0,3-0,5% после отстаивания), затем фильтруют от мелких механических примесей, очищают от примесей (количество нежировых примесей 0,3-0,5% до фильтрации, 0,05% после фильтрации).

После первичной рафинации получаем нерафинированное сафлоровое масло, а если производить рафинированное масло, то необходимо дополнительная физико-химическая рафинация.

Физико-химическая обработка состоит из процессов гидратации, нейтрализации, отбеливания и дезодорации.

При гидратации в емкость с мешалкой поступает предварительно очищенное. Масло в емкости смешивают с теплой водой и солью, нагревают до 100<sup>0</sup>С с помощью теплогенератора и перемешивают в течение 15 минут со скоростью 3-4 об/мин. При гидратации сафлоровое масло очищается от фосфатидов и некоторых гидрофильных веществ.

В емкости нейтрализации масло очищается от свободных жирных кислот, частично от вкусоароматических и красящих веществ, фосфолипидов, небольшого количества воска и



углеводов. Сафлоровое масло смешивают и нагревают до 65 °С. Затем добавляют щелочной раствор и теплую воду в количестве, рассчитанном по известным формулам. Смеситель выключают, когда гранулы сафлора начинают оседать в сафлоровом масле, и проводят осаждение в течение 6 часов после завершения процесса нейтрализации [5].

Сафлоровое масло, обработанное щелочным раствором, затем отбеливают. Отбеливание – это процесс контакта сафлорового масла с сорбентами.

В результате сафлоровое масло белеет и приводит к разрушению жирорастворимых пигментов, т. е. каротиноидов, хлорофиллов, канцерогенных соединений, мыла, ротовых и слизистых веществ.

После процесса отбеливания сафлоровое масло поступает на рамочный фильтр и очищается от адсорбента.

Отбеленное масло подвергается завершающей физико-химической обработке – дезодорации. Его назначение – устранение низкомолекулярных кислот, альдегидов, кетонов и других летучих веществ, влияющих на запах и вкус масла. При дезодорации в емкости создается вакуум, включаются смеситель и парагенератор. Давление пара, образующегося в парогенераторе, не должно превышать 0,3 МПа. Когда температура в резервуаре достигнет 180°С, необходимо включить вакуумный насос. Летучие вещества из масла вымываются, очищаются от различных примесей и сохраняются в капельнице-сборнике. После дезодорации сафлоровое масло проходит через фильтр тонкой очистки и накапливается в емкости хранения готового продукта [6].

После завершения всех процессов производственной линии сафлорового масла (рис. 1) мы получаем рафинированное дезодорированное сафлоровое масло. Готовый продукт поступает на линию упаковки и розлива и разливается по бутылкам.

Особое место в переработке сафлорового масла, в том числе в процессе первичной очистки, занимает процесс шелушения [7]. Очистка семян сафлора до процесса прессования очень сложна и важна. Изначальное отделение шелухи от ядра способствует увеличению маслячности сафлора, сырье избавляется от низкомасличных компонентов и содержание масла в нем повышается. При этом возрастает эффективность оборудования, так как рабочий объем машин и аппаратов не загружается балластным маломасличным материалом – шелухой. При очистки шелухи в масло не попадают липиды лузги или шелухи, богатые восками и воскоподобными компонентами [8].

Необходимость отделения шелухи от ядра вызвана также и тем, что ткани оболочки из-за их большой пористости при соприкосновении с маслом способны интенсивно всасывать его, а затем очень крепко задерживать, в итоге чего растут потери масла в производстве. Очистка шелухи от ядра упрощает процесс прессования, так как механическая прочность шелухи значительно выше ядра, а нахождение шелухи в зоне прессования вызывает износ рабочих органов оборудования и приводит к снижению их работоспособности [8].

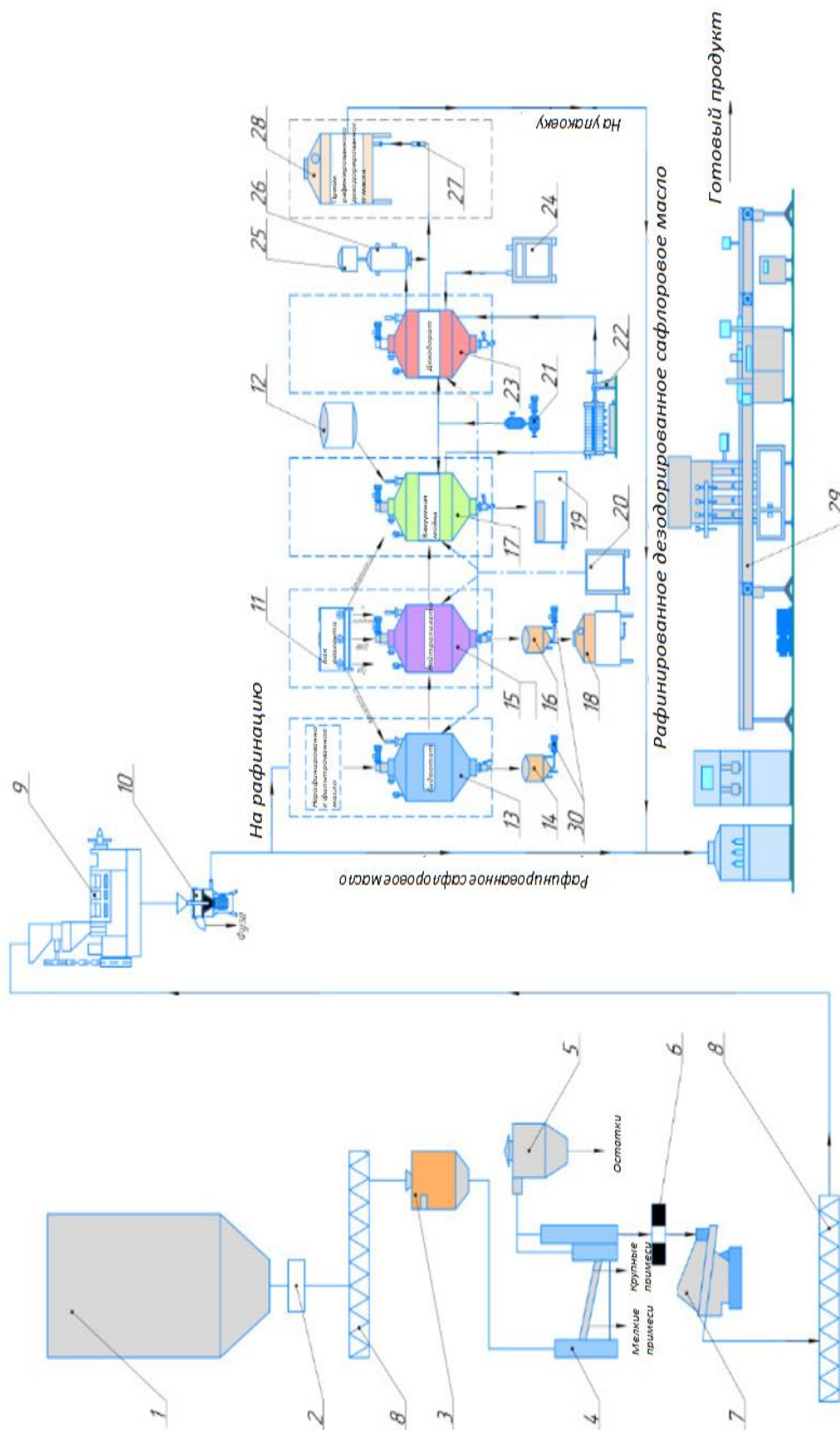
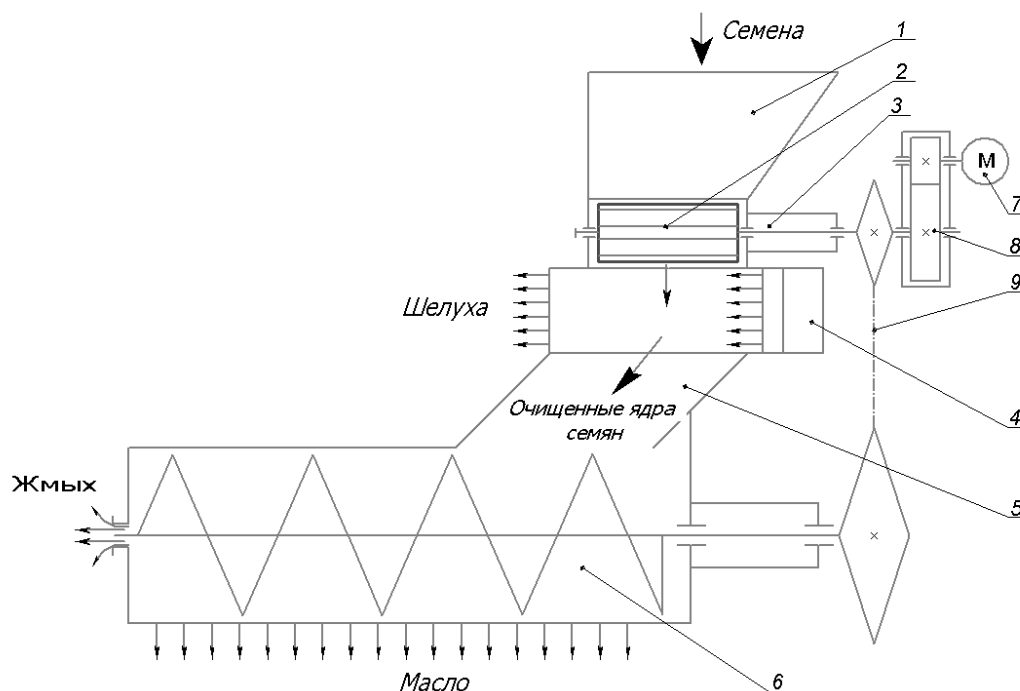


Рисунок 1. Технологическая линия производства сафлорового масла:

1 – бункер для семян сафлора; 2 – дозатор; 3 – автоматические весы; 4 – сепаратор; 5 – бункер для примесей; 6 – магнитный сепаратор; 7 – камнеотборник; 8 – конвейер; 9 – конвейер; 10 – центрифуга для фильтрации и отстаивания; 11 – бак для реагентов; 12 – емкость для отбеливания; 13 – емкость для гидратации; 14 – емкость для осадки; 15 – емкость для нейтрализации; 16 – емкость для соапстока; 17 – вакуумная мойка; 18 – емкость хранения соапстока; 19 – маслоуловитель; 20 – теплогенератор; 21 – вакуум-насос; 22 – размочный фильтр; 23 – дезодоратор; 24 – парогенератор; 25 – емкость хранения постторонних предметов; 26 – скруббер; 27 – фильтр; 28 – емкость для хранения рафинированного дезодорированного масла; 29 – линия для упаковки и розлива сафлорового масла; 30 – насос.

Для обеспечения очистки шелухи от ядра в указанной линии предложена конструкция шелушитель-пресса для очистки и прессования семян сафлора (рис. 2).

Отличительной особенностью предложенного оборудования является процесс одновременного шелушения и прессования в одном аппарате, что обеспечивает получение высококачественного и биологически ценного продукта. Понижаются материальные и энергозатраты, повышается удобства эксплуатации без снижения качества получаемого сафлорого масла.



**Рисунок 2. Принципиальная схема шелушитель-пресса для отделения сафлорого масла:**  
 1 – бункер; 2 – шелушитель; 3 – ротор; 4 – вентилятор-сепаратор; 5 – лоток; 6 – шнековый пресс;  
 7 – электродвигатель; 8 – редуктор; 9 – цепная передача.

Экспериментальный шелушитель-пресс включает в себя бункер 1, шелушитель 2, ротор 3, вентилятор-сепаратор 4, лоток 5, шнековый пресс 6, электродвигатель 7, редуктор 8, цепная передача 9.

Семена сафлора поступает в бункер и транспортируется в шелушитель где под действием центробежной силы, по направляющим каналам поверхности вальцового механизма, разгоняются и, срываясь через окна валка, ударяются об упругое покрытие расположенное на внутренней стороне деки. Шелуха семян при этом разрушается.

Результативность процесса шелушения достигается тем, что при ударе об твердую поверхность происходит поверхностное распределение энергии удара по ядру в отличие от удара о твердую поверхность, где осуществляется точечный контакт семян сафлора с декой, что приводит к разрушению семени и очистки шелухи. В связи с тем, что распределение энергии происходит на поверхности зерна, скорость отскакивания ее от деки существенно меньше, чем при ударе об упругую поверхность, а значит, не происходит дополнительного удара с вновь поступающим продуктом, что, в свою очередь, сохраняет целостность ядра и воздействует на качество шелушенного продукта.

Опытно-промышленный образец оборудования для очистки сафлора от шелухи рекомендуется использовать в составе линии по производству сафлорого масла в минипроизводственных цехах перерабатывающей промышленности.

## Заключение

Таким образом, разработана технологическая линия переработки сафлора и производства качественного сафлорового масла. Представленная технологическая линия имеет высокую значимость благодаря присутствию в ее составе шелушитель-пресса для отделения шелухи от ядра и прессования масличного сырья, что обеспечивает получение высококачественного и биологически ценного продукта. Такое конструирование узлов предложенной линии для получения сафлорового масла и их соединение между собой позволяет исключить использование различных накопительных бункеров, а также понижается энергозатраты и материальные расходы на эксплуатацию, исключение вероятности дополнительного контакта обрабатываемого сырья с кислородом воздушной среды.

## Список литературы

1. Послание президента РК К. К-Ж. Токаева народу Казахстана 1.09.2021 г.
2. Алтайұлы С., Шагирова А., Муратхан М., Байгазов Н. Разработка инновационной технологии производства сафлорового масла. VIII Международная студенческая научная конференция «Студенческий научный форум-2016» г. Москва 98-104 с.
3. ГОСТ 12096-76. Сафлор для переработки. Технические условия.
4. С.А. Нагорнов, Д.С. Дворецкий, С.В. Романцова, В.П. Таров. Техника и технология производства и переработки растительных масел – Тамбов : Изд-во ГОУ ВПО ТГТУ, 2010. – 96 с.
5. В.Г. Щербаков. Технология получения растительных масел. 3-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 1992. – 207 с. ил. - (Учебники и учеб. пособия для подгот. кадров массовых профессий).
6. Щербаков В.Г., Лобанов В.Г. Биохимия и товароведение масличного сырья. Кубанский государственный технологический университет. 6-е изд., перераб. и доп. – М.: Колос, 2012. – 392 с. ил. - (Учебники и учеб. пособия для студентов высш. учеб. заведений).
7. Алтайұлы С., Сатаева Ж.И. Современные оборудования масложировой промышленности. Учебное пособие /Астана: Казахский агротехнический университет имени С.Сейфуллина - 2018. - 182 с., илл.
8. В.В. Белобородов. Основные процессы производства растительных масел. – М: Пищевая промышленность, 1966. – 453с.

**М.Т. Мурсалыкова<sup>1</sup>, М.М. Какимов<sup>2</sup>, А.Л. Касенов<sup>1</sup>, Д.Р. Орынбеков<sup>3</sup>,  
Ж.Х. Тохтаров<sup>1</sup>, Б.М. Искаков<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Шәкәрім атындағы университет, Семей, Қазақстан

<sup>2</sup>С. Сейфуллин атындағы Қазақ агротехникалық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>3</sup>Л.Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

## Шағын өндірісте мақсары майын өндеуге арналған технологиялық желісі

**Аңдатпа.** Мақала астық өңдеу өнеркәсібінің шағын кәсіпорындарында мақсары майын өндірудің шағын габаритті технологиялық желісін әзірлеуге арналған. Қазақстан Республикасындағы және әлемде май өнеркәсібінің өзектілігі, танымалдылығының артуы белгілері көрсетілген. Соңғы өнімнің жоғары сапасына қол жеткізу үшін мақсарыны қоспалардан және қауызынан тазартуға тікелей ықпал етеді. Белгілі желілердің негізгі кемшіліктері - бұл шағын май өндірісінде жабдықты пайдалану мүмкін емес болатын көлемді дизайн, айтарлықтай материалдық шығындар және энергия шығындары.

Бұл мәселені шешу үшін қабықты дәннен ажыратуға және майлы дақылдар шикізатын пресстеу арналған түпнұсқа дизайндағы ақтағыш-пресстің бөлігі ретінде жоғары сапалы және биологиялық құнды өнім өндіруді қамтамасыз ететін технологиялық желі ұсынылды. Мақсары майын өндіру бойынша ұсынылып отырған технологиялық желі пресстеу арқылы май алуды шағын өндіру жағдайында материалды және энергетикалық шығындарды азайту, алынған майдың сапасын төмендетпей пайдаланудың қарапайымдылығын арттыру болып табылады. Сондай-ақ, технологиялық және схема, жабдықтың негізгі құрамдас бөліктерінің сипаттамалары және оның жұмыс істеу принципі келтірілген.

**Түйін сөздер:** технологиялық желі, ақтағыш, пресс, мақсары, өсімдік майы, сығу, қабық, дән.

M. Mursalykova<sup>1</sup>, M. Kakimov<sup>2</sup>, L. Kassenov<sup>1</sup>, D. Orynbekov<sup>3</sup>, Zh. Tokhtarov<sup>1</sup>, B. Iskakov<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Shakarim University, Semey, Kazakhstan

<sup>2</sup>S. Seifullin Kazakh Agro Technical University, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>3</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

### Technological line for the production of safflower oil in a mini-production

**Abstract.** This article is devoted to the development of a small-sized technological line for the production of safflower oil in small enterprises of the grain processing industry. The relevance of the oil and fat industry is outlined, including signs of the increased popularity of safflower oil in Kazakhstan and in the world. Achieving a high quality of the final product directly contributes to the purification of safflower from impurities and husks. The main disadvantages of the known lines are the bulky design, significant material costs and energy costs which make it impossible to use the equipment in a mini-oil production; difficulty in operation.

To solve this problem, a technological line was proposed as part of a peeler-press of an original design for separating the husk from the kernel and pressing oilseed raw materials, which ensures the production of a high-quality and biologically valuable product. The proposed technological line for the production of safflower oil is to reduce material and energy costs in the conditions of mini-production of obtaining oil by pressing, increasing ease of operation without reducing the quality of the resulting oil. In addition, the technological and schematic diagrams are given, the characteristics of the main components of the equipment and the principle of its operation are presented.

**Keywords:** technological line, peeler, press, safflower, vegetable oil, spin, husk, core.

### References

1. Poslanie prezidenta RK K. K-ZH. Tokaeva narodu Kazahstana 1.09.2021 g.
2. Altajuly S., SHagirova A., Murathan M., Bajgazov N. Razrabotka innovacionnoj tekhnologii proizvodstva saflorovogo masla. VIII Mezhdunarodnaya studencheskaya nauchnaya konferenciya «Studencheskij nauchnyj forum-2016» g. Moskva 98-104 c.
3. GOST 12096-76. Saflor dlya pererabotki. Tekhnicheskie usloviya.
4. S.A. Nagornov, D.S. Dvoreckij, S.V. Romancova, V.P. Tarov. Tekhnika i tekhnologiya proizvodstva i pererabotki rastitel'nyh masel – Tambov : Izd-vo GOU VPO TGTU, 2010. – 96 s.
5. V.G. SHCHerbakov. Tekhnologiya polucheniya rastitel'nyh masel. 3-e izd., pererab. i dop. - M.: Kolos, 1992. - 207 s. il. - (Uchebniki i ucheb. posobiya dlya podgot. kadrov massovyh professij).
6. SHCHerbakov V.G., Lobanov V.G. Biohimiya i tovarovedenie maslichnogo syr'ya. Kubanskij gosudarstvennyj tekhnologicheskij universitet. 6-e izd., pererab. i dop. - M.: Kolos, 2012. - 392 s. il. - (Uchebniki i ucheb. posobiya dlya studentov vyssh. ucheb. zavedenij).



7. Altajuly S., Sataeva ZH.I. *Sovremennye oborudovaniya maslozhirovoj promyshlennosti. Uchebnoe posobie* /Astana: Kazahskij agrotekhnicheskij universitet imeni S.Sejfullina - 2018. - 182 s., ill.

8. V.V. Beloborodov. *Osnovnyye processy proizvodstva rastitel'nyh masel.* – M: Pishchevaya promyshlennost', 1966. – 453s.

**Сведения об авторах:**

**Мурсалыкова М.Т.** – докторант кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», Университет имени Шакарима г. Семей, ул. Физкультурная 4, Семей, Казахстан.

**Какимов М.М.** – кандидат технических наук, заведующий кафедрой «Технология пищевых и перерабатывающих производств» Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, пр. Жеңіс 62, Нур-Султан, Казахстан.

**Касенов А.Л.** – доктор технических наук, профессор кафедры «Технологическое оборудование и машиностроение», Университет имени Шакарима г. Семей, ул. Физкультурная 4, Семей, Казахстан.

**Орынбеков Д.Р.** – кандидат технических наук, старший научный сотрудник НИПКЛ «Технология, механизация и автоматизация строительных и транспортных процессов» Евразийского национального университета им. Л.Н. Гумилева, ул. Стпаева 2, Нур-Султан, Казахстан.

**Тохтаров Ж.Х.** – phd, декан инженерно-технологического факультета, Университет имени Шакарима г. Семей, ул. Физкультурная 4, Семей, Казахстан, ул. Физкультурная 4, Семей, Казахстан.

**Искаков Б. М.** – докторант кафедры «Технология пищевых и перерабатывающих производств» Казахский агротехнический университет имени С. Сейфуллина, пр. Жеңіс 62, Нур-Султан, Казахстан.

**Mursalykova M.** – doctoral student of the department "Technological equipment and mechanical engineering" Shakarim University, Semey, Fizkulturnaya str 4, Semey, Kazakhstan.

**Kakimov M.** – candidate of technical sciences, Head of the Department of «Food Technology and Processing Products», Zhenis avenue, 62, Nur-Sultan, Kazakhstan.

**Kassenov A.** – Doctor of Technical Sciences, professor of the department "Technological equipment and mechanical engineering" Shakarim University, Semey, Fizkulturnaya str 4, Semey, Kazakhstan.

**Orynbekov D.** – candidate of technical sciences, Senior Research Fellow, research design and design laboratory "Technology, mechanization and automation of construction and transport processes" of the Eurasian National University. L.N. Gumilyov, Satpayev str., Nur-Sultan, Kazakhstan.

**Tokhtarov Zh.** – phd, dean of the Faculty of Engineering and Technology, Shakarim University, Semey, Fizkulturnaya str 4, Semey, Kazakhstan.

**Iskakov B.** – doctoral student of the department of «Food Technology and Processing Products», Zhenis avenue, 62, Nur-Sultan, Kazakhstan.



**B. Togizbayeva<sup>1</sup>, B. Suleyev<sup>2</sup>, Zh. Kuanyshuly<sup>1</sup>, A. Kenesbek<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>*L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Karaganda technical university, Karaganda, Kazakhstan*

*E-mail: baglant099@gmail.com, culeev\_bahtiyar@mail.ru, zkuanyshuly@gmail.com, kenesbekanuar@bk.ru*

## **Determination of the technical level of excavator structures based on parametric analysis**

**Abstract.** The article is devoted to the definition of promising excavator designs. The paper presents current models of excavators operating on the territory of the Republic of Kazakhstan. The main technical characteristics of the machines are considered. Statistical analysis and processing in the software environment were carried out. Summary statistics for each of the selected data variables are provided. It includes measures of central tendency, measures of variability and measures of form. Based on the correlation matrix of indicators, it was revealed that the weight of the excavator has the greatest relationship with the digging depth, its capacity and bucket volume. Cluster analysis was carried out using the software package. As a result of cluster analysis, it was determined that the existing excavator designs can be divided into three groups. Histograms of the distribution are constructed. With their help, modal intervals and the middle are determined. The criterion of significance and the weighting coefficient for each indicator are determined. The coefficient of the technical level is calculated. Based on the results of the technical level, promising indicators of power values, digging depth, bucket volume and excavator weight are proposed.

**Keywords:** excavator, construction, cluster analysis, histogram, technical level.

**DOI:** [doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-67-75](https://doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-67-75)

### **Introduction**

In our republic, the volume of construction of buildings, structures, and highways is growing annually. According to the state policy in the field of construction and social protection, the volume of construction of social facilities is growing. It is impossible to perform an increasing amount of work without the use of special machinery and equipment.

The excavator is designed for digging the soil and its subsequent movement. A modern excavator is an indispensable equipment for road construction work. The range of application of the machine is quite wide, including the excavation of hard rocks, soil and bulk materials, ore extraction, excavation of pits, maintenance of engineering structures and landscaping.

Despite the variety of machines presented, their various designs such as single-bucket, multi-bucket excavator, single-bucket excavator with hydraulic drive of working equipment has found greater use in construction.

This machine which is unique in its design is used both for digging ditches and trenches and for planning slopes and erecting embankments for the roadway.

If in the construction of automobile roads, machines with a tracked propulsion are widely used, then in the construction of buildings and structures carried out in urban conditions, machines with a wheeled propulsion are widely used, since this facilitates the delivery process (the equipment arrives at the work site independently), maneuverability increases, and the possibility of use in cramped urban conditions.

### **Literary review**

Both domestic and foreign researchers are engaged in the development of the excavator design. Among them, we can mention the work of a group of researchers engaged in the development of

completely new machine design and control systems.

The author's article [1] presents the results of numerical and experimental analysis of the stability of hydraulic excavators. The author's article [2] considers the issue of developing the design of the machine taking into account the conditions of its operation. The paper presents information about the development of an excavator control system [3].

### Materials and methods of research

The modern excavator market is represented by a wide range of equipment. Among this large variety, it is extremely difficult to single out exactly the technique that needs to be used. For this purpose, an indicator – the technical level - can be used to determine trends and promising models.

To apply the assessment of the technical level of products, you must perform the following actions:

1. Collect parametric information, namely numerical data on the main characteristics of machines or their working equipment;
2. Perform factor analysis to determine the relationship of indicators;
3. Perform cluster analysis to determine homogeneous groups;
4. Formation of the structure of the coefficient of technical level;
5. Proposals for the use of the coefficient of technical level

To assess the technical level of excavators, it is necessary to process statistical data in the «Statgraphics centurion XV» application software package.

In this regard, the issues of modernization of existing designs and the development of new ones are particularly relevant. In order to determine the trend in the development of machine designs and determine promising indicators, it is necessary to conduct an analysis

### Research results

To assess the technical level of excavators, we will use statistical data processed in the Stat Graphics Centurion application package, presented in Table 1. The table shows that most of the weight of excavators is in the range from 14 to 19 tons, the bucket volume is in the range from 0.5 to 0.95 m<sup>3</sup>, the digging depth is from 4 to 6.5 meters, the power internal combustion engines from 90 to 110 kW. Based on the analysis, the following data were obtained (Table 2).

This procedure is designed to summarize several columns of quantitative data. It will calculate various statistics, including correlations, covariances, and partial correlations. Also included in the procedure are a number of multivariate graphs, which give interesting views into the data. Use the Tabular Options and Graphical Options buttons on the analysis toolbar to access these different procedures.

Table 1

Technical characteristics of excavators

No	Brand	Weight, t	Bucket volume m <sup>3</sup>	Digging height, m	Power, kW
1	Caterpillar m 313 d	16,2	0,84	5,75	95
2	Doosan\daewoo s 180 w5	17,7	0,93	6,00	112
3	Hitachiex 160 w	16,9	0,82	5,84	90,2
4	Hyundai r 170 w	16,2	0,76	5,42	94
5	J.C.B. js 160 w	17,7	0,70	6,23	97
6	Komatsu rw160-7	16,5	0,75	5,96	90
7	Liebherr a 314	16,6	0,75	5,45	90

8	New holland mh plus	16,8	0,80	5,70	192
9	Terex tw 170	16,2	0,90	5,70	110
10	Volvo ev 160 b	17,5	0,80	6,20	103
11	Case WX95	9,85	0,28	4,3	74
12	Case WX125	12,4	0,57	4,84	84
13	Case WX145	15,3	0,95	5,5	90
14	Cat M315D	18,3	0,9	5,8	101
15	Cat M316D	19,8	1,3	6,1	118
16	Cat M318D	20,1	1,3	6,4	124
17	Caterpillar M315D2	15,2	0,76	5,3	101
18	Hitachi ZX130W	14/9	0,7	5,5	89
19	Hitachi ZX140W-3	16	0,5	4,38	110
20	Hitachi ZX160W	17,3	0,8	5,8	90

To date, the number of excavator models on the market is quite wide and is represented by various models, both with a wheeled and tracked propulsion, with a reverse and straight shovel and in various other modifications.

Table 2

## Summary Statistics

	Excavator weight	Excavator power	Digging dept h	Excavator speed	Bucket volume
Count	20	20	20	20	20
Average	16,5225	102,71	5,6085	32,25	0,8055
Standard deviation	2,27691	24,2695	0,563637	4,32709	0,229679
Coeff. ofvariation	13,7807%	23,6291%	10,0497%	13,4173%	28,5138%
Minimum	9,85	74,0	4,3	20,0	0,28
Maximum	20,1	192,0	6,4	38,0	1,3
Range	10,25	118,0	2,1	18,0	1,02
Std. skewness	-2,51043	5,09688	-2,02438	-2,23519	0,519473
Std. kurtosis	3,08557	9,08907	0,909523	2,07591	1,71593

This table shows summary statistics for each of the selected data variables. It includes measures of central tendency, measures of variability, and measures of shape. Table 3 shows the correlation matrix of indicators.

Table 3

## Correlation matrix of excavator indicators

	Excavator weight	Excavator power	Digging depth	Excavator speed	Bucket volume
Excavator weight		0,3847	0,8085	-0,0682	0,7970
		(20)	(20)	(20)	(20)
		0,0939	0,0000	0,7752	0,0000
Excavator power	0,3847		0,2781	-0,0589	0,3613

	(20)		(20)	(20)	(20)
	0,0939		0,2351	0,8051	0,1175
Digging depth	0,8085	0,2781		-0,0838	0,7722
	(20)	(20)		(20)	(20)
	0,0000	0,2351		0,7254	0,0001
Excavator speed	-0,0682	-0,0589	-0,0838		-0,0666
	(20)	(20)	(20)		(20)
	0,7752	0,8051	0,7254		0,7803
Bucket volume	0,7970	0,3613	0,7722	-0,0666	
	(20)	(20)	(20)	(20)	
	0,0000	0,1175	0,0001	0,7803	

As can be seen from the table, the weight of the excavator has the greatest relationship with the digging depth k (0.8085), the weight of the excavator and its power k (0.3847), and the weight of the excavator and the bucket volume k (0.7970). This finds logical confirmation.

The purpose of cluster analysis, which is performed using the Stat Graphics program (Special | Multivariate Methods | Cluster Analysis). The Euclidean distance was used as a measure of similarity in the cluster analysis procedure. Results of cluster analysis showed on figure 1.

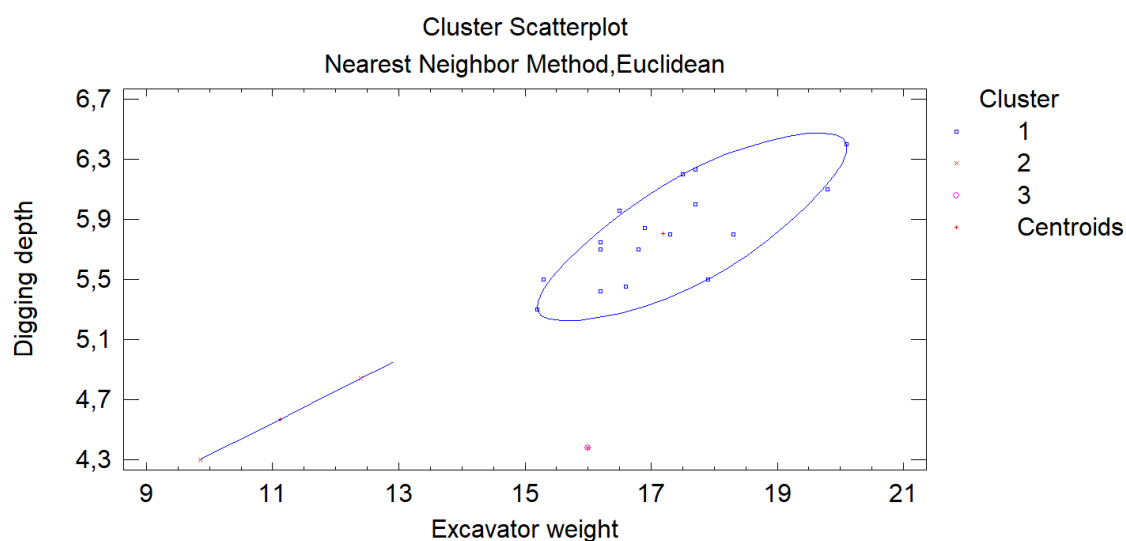
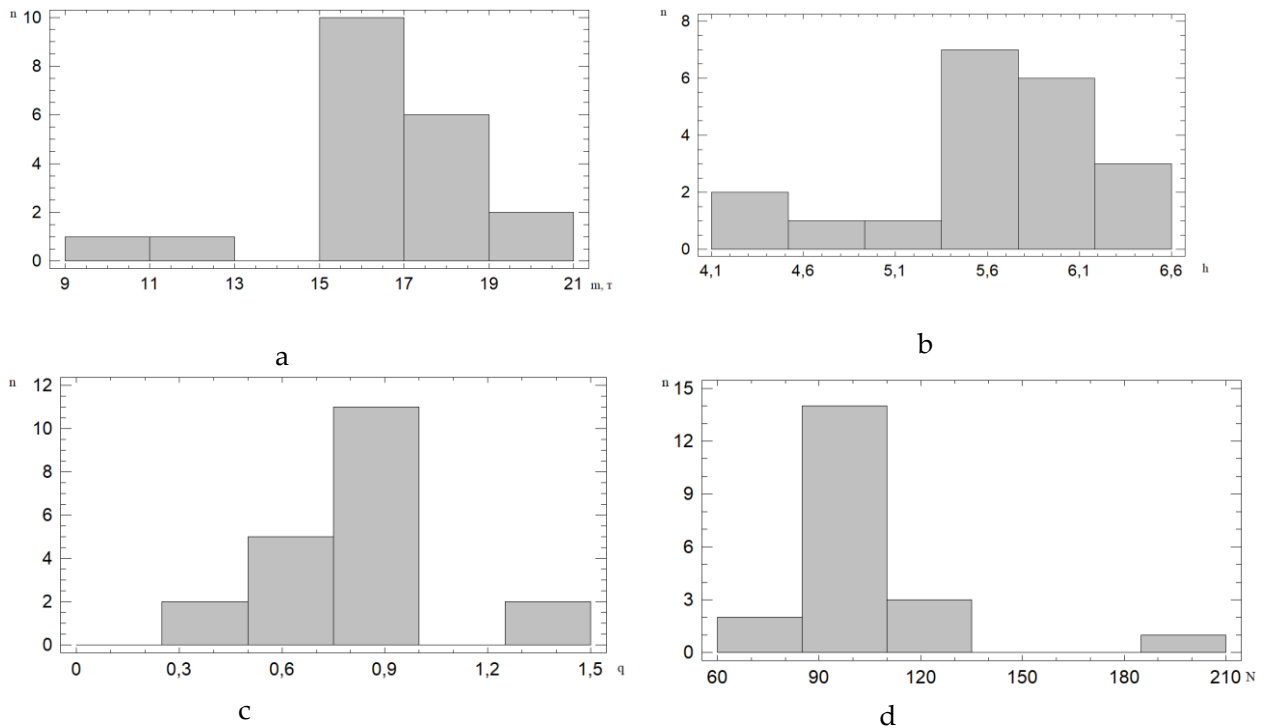


Figure 1. Cluster analysis

This procedure created 3 clusters out of 20 observations provided. Clusters are groups of observations with similar characteristics.

Cluster analysis revealed classificationally homogeneous groups of machines. This will allow us to draw conclusions with confidence from the histograms of the distribution. The histogram of the distribution of excavator indicators is shown in the figure 2.



a) excavator weight, tons; b) digging depth, m; c) bucket volume, m<sup>3</sup>; d) engine power, kW

**Figure 3. Distribution of values of excavator indicators**

The modal interval for the excavator mass indicator is in the range from 15 to 17 with the middle equal to 16, the modal interval for the digging depth indicator is in the range from 5.35 meters to 5.76 meters with the middle of the modal interval equal to 5.55 meters, the excavator power is in the range from 85 kW to 110 kW, with the value of the middle equal to 97.5 kW

When determining the coefficient of the technical level of the excavator, promising indicators are the bucket volume, power and depth of digging, these indicators significantly affect the performance of the machine.

To determine the coefficient of the technical level, we will use the known equations

$$k_{TLE} = \gamma_q \frac{q_i}{q_{\delta i}} + \gamma_N \frac{N_i}{N_{\delta i}} + \gamma_h \frac{h_i}{h_{\delta i}} + \gamma_m \frac{m_{\delta i}}{m_i} \quad (1)$$

where  $\gamma_q, \gamma_N, \gamma_h, \gamma_m$  are, respectively, the weighting coefficients of the bucket volume, power, digging depth, mass;

$q_{\delta i}, N_{\delta i}, h_{\delta i}, m_{\delta i}$  - respectively, the basic values of the bucket volume, power, digging depth, mass.

The criterion of significance is determined by the formula 2

$$m_i = \frac{\sum m_{+i}}{N} \quad (2)$$

where  $\sum m_{+i}$  is the number of models that fell into the modal interval on the histogram;

$N$  is the number of models included in the histogram.

The weighting coefficient for the  $i$ -th indicator is determined by the formula 3:



$$\gamma_i = \frac{m_i}{\sum_{i=1}^n m_i} \quad (3)$$

where  $m_i$  is the criterion of significance of the  $i$ -th indicator;  
 $n$  is the number of analyzed models.

The values of the basic indicators, the criteria for the significance of the weighting coefficient are presented in Table 4, and the calculated values of the technical level of the technical indicators of the excavators are presented in Table 5

**Table 4**

**The value of the basic indicators**

No	Indicator	Basic value	Significance criterion	Weighting coefficient
1	Bucket volume, m <sup>3</sup>	0,875	0,65	0,220
2	Power, kW`	97,5	0,9	0,305
3	Digging height, m	5,55	0,8	0,272
4	Weight, t	16	0,6	0,203

**Table 5**

**Calculated values of the excavator technical level indicator**

Brand	Weight	Bucket volume	Digging height	Power	Total
Caterpillar m 313 d	0,200494	0,2112	0,2818	0,2972	0,9907
Daewoo s180w5	0,183503	0,233829	0,2941	0,3504	1,0617
Hitachiex 160 w	0,192189	0,206171	0,2862	0,2822	0,9667
Hyundai r 170 w	0,200494	0,191086	0,2656	0,2941	0,9513
J.C.B. js 160 w	0,183503	0,176	0,3053	0,3034	0,9683
Komatsu rw160-7	0,196848	0,188571	0,2921	0,2815	0,9591
Liebherr a 314	0,195663	0,188571	0,2671	0,2815	0,9329
New holland mh+a	0,193333	0,201143	0,2794	<b>0,6006</b>	1,2744
Terextw 170	0,200494	0,226286	0,2794	0,3441	1,0502
Volvoev 160 b	0,1856	0,201143	0,3039	0,3222	1,0128
Case WX95	<b>0,329746</b>	0,0704	0,2107	0,2315	0,8424
Case WX125	0,261935	0,143314	0,2372	0,2628	0,9052
Case WX145	0,212288	0,238857	0,2695	0,2815	1,0022
Cat M315D	0,177486	0,226286	0,2843	0,3159	1,0040
Cat M316D	0,16404	<b>0,326857</b>	0,2990	0,3691	1,1590
Cat M318D	0,161592	0,326857	<b>0,3137</b>	0,3879	1,1900
Caterpillar M315D2	0,213684	0,191086	0,2597	0,3159	0,9805
Hitachi ZX130W	0,217987	0,176	0,2695	0,2784	0,9419
Hitachi ZX140W-3	0,203	0,125714	0,2147	0,3441	0,8875
Hitachi ZX160W	0,187746	0,201143	0,2843	0,2815	0,9547

The calculated values of the coefficient of the technical level of each type of equipment allow us to identify the most promising version of the equipment.

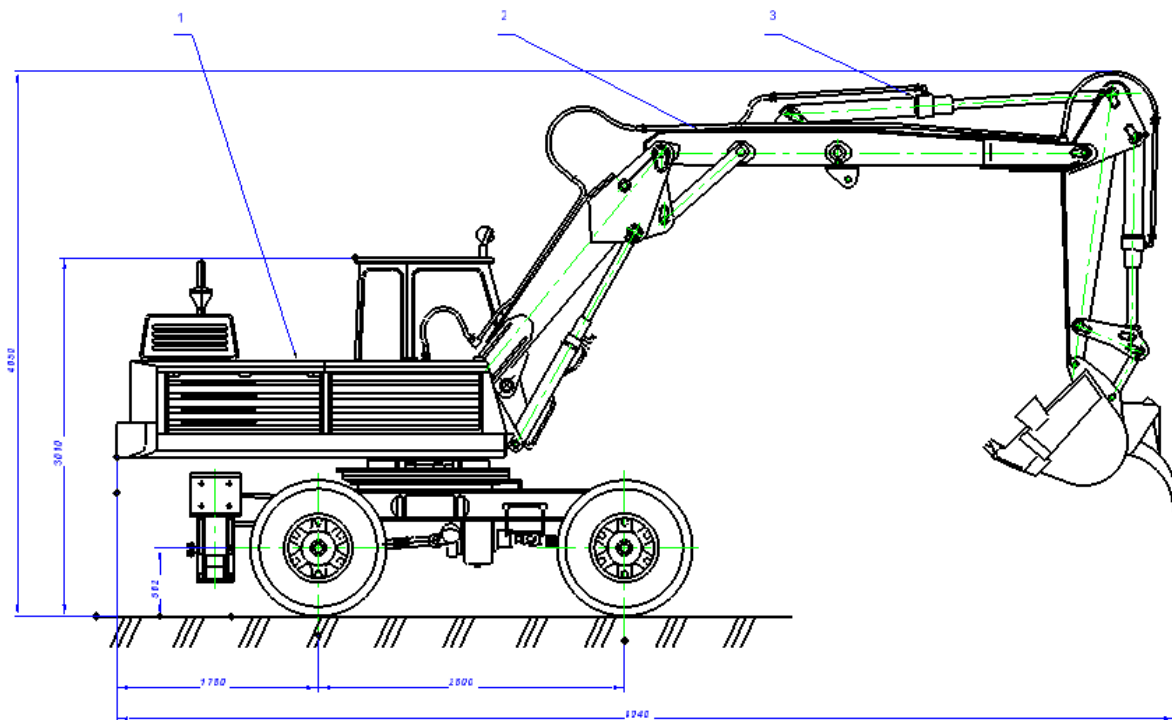
### Discussion of the results obtained

The coefficient of the technical level obtained by calculation allows us to draw conclusions about the development trends and promising structures of machines.

So for excavators, promising models in terms of indicators are the following:

1. NEW HOLLAND MH+, wheeled excavator;
2. Cat M316D, wheeled excavator;
3. Cat M318D;
4. Case WX95.

According to the promising indicators of the machines, drawing works were carried out on the general types shown in Figure 2.



1-rotary platform; 2-boom; 3- hydraulic cylinder of the handle

Figure 2. General view of the excavator

Thus, the promising indicators of the excavator are the following:

- excavator weight from 16 to 19 tons;
- bucket volume from 0.8 to 1.3 m<sup>3</sup>;
- digging depth from 5.7 to 6.4 meters
- power from 118 to 192 kW.

The conducted research will help to determine the level of technology development in the future.

## References

1. Janosevic Dragoslav, Pavlovic Jovan, Jovanovic Vesna, Petrovic Goran A numerical and experimental analysis of the dynamic stability of hydraulic excavators // Facta universitatis-series mechanical engineering – 2018. – Т.16. - №2. – p. 157-170. DOI: 10.22190/FUME180404015J.
2. Tosun, a Determination of excavator type according to rock and excavator characteristics in soft formations that can be excavated directly // Journal of mining science – 2019. Т.50. - №2. – p. 349-361. DOI: 10.1134/S1062739114020185.
3. Reginald, Niraj, Seo Jaho, Cha Moohyun Integrative Tracking Control Strategy for Robotic Excavation // International Journal of Control, Automation, and Systems – 2021. –Т.19. - №7. – p. 3435-3450. DOI: 10.1007/s12555-020-0595-2.

**Б.Тоғызбаева<sup>1</sup>, Б.Д. Сулеев<sup>2</sup>, Ж. Қуанышұлы<sup>1</sup>, Ә. Кеңесбек<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup>Қарағанды техникалық университеті, Қарағанды, Қазақстан

### Параметрлік талдау негізінде экскаватор конструкцияларының техникалық деңгейін анықтау

**Аңдатпа.** Мақала экскаватордың перспективалық конструкцияларын анықтауға арналған.

Қазақстан Республикасының аумағында пайдаланылатын экскаваторлардың өзекті модельдері ұсынылған. Машиналардың негізгі техникалық сипаттамалары қарастырылады. Бағдарламалық ортада статистикалық талдау және өңдеу жүргізілді. Таңдалған деректер айнымалыларының әрқайсысы үшін жиынтық статистика келтірілген. Оған орталық тренд шаралары, өзгергіштік шаралары және форма шаралары кіреді. Көрсеткіштердің корреляциялық матрицасы негізінде экскаватордың салмағы қазу тереңдігімен, оның қуатымен және шөміш көлемімен ең үлкен байланыс бар екендігі анықталды.

Бағдарламалық пакеттің көмегімен кластерлік талдау жүргізілді. Кластерлік талдау нәтижесінде экскаваторлардың қолданыстағы конструкцияларын үш топқа бөлуге болатындығы анықталды. Таралу гистограммалары салынды. Олардың көмегімен модальды интервалдар мен орта анықталады. Әрбір көрсеткіш үшін маңыздылық критерийі мен салмақ коэффициенті анықталды. Техникалық деңгей коэффициенті есептелді. Техникалық деңгейдің нәтижелері бойынша қуат мәндерінің, қазу тереңдігінің, шөміш көлемінің және экскаватор массасының перспективалық көрсеткіштері ұсынылған.

**Түйін сөздер:** экскаватор, конструкция, кластерлік талдау, гистограмма, техникалық деңгей

**Б. Тоғызбаева<sup>1</sup>, Б.Д. Сулеев<sup>2</sup>, Ж. Қуанышұлы<sup>1</sup>, А. Кеңесбек<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Евразийский национальный университет им Л.Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>Карагандинский технический университет, Караганда, Казахстан

### Определение технического уровня конструкций экскаваторов на основе параметрического анализа

**Аннотация.** Статья посвящена определению перспективных конструкций экскаватора. В работе представлены актуальные модели экскаваторов, эксплуатирующихся на территории Республики Казахстан. Рассмотрены основные технические характеристики машин. Проведен статистический анализ и обработка в программной среде. Приведена сводная статистика по

каждой из выбранных переменных данных. Она включает в себя меры центральной тенденции, меры изменчивости и меры формы. На основе корреляционной матрицы показателей, выявлено, что наибольшую связь имеет вес экскаватора с глубиной копания, его мощностью и объемом ковша. При помощи программного пакета проведен кластерный анализ. В результате кластерного анализа определено, что существующие конструкции экскаваторов можно разделить на три группы. Построены гистограммы распределения. С их помощью определены модальные интервалы и середина. Определены критерий значимости и коэффициент весомости для каждого показателя. Рассчитан коэффициент технического уровня. На основании результатов технического уровня предложены перспективные показатели значений мощности, глубины копания, объема ковша и массы экскаватора.

**Ключевые слова:** экскаватор, конструкция, кластерный анализ, гистограмма, технический уровень

**Information about authors:**

*Togizbayeva B.* – professor of L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Suleyev B.* – Acting Director of the Department of science and innovation of the Karaganda technical university Kazakhstan, Karaganda, Kazakhstan.

*Kuanyshuly Zh.* – 2nd year doctoral student of L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Kenesbek A.* – L.N.Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Тогызбаева Б.* – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университетінің профессоры, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

*Сулеев Б.Д.* – Қарағанды техникалық университеті Ғылым және инновация департаментінің директорының міндетін атқарушы, Қарағанды, Қазақстан.

*Қуанышұлы Ж.* – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университетінің 2-ші курс докторанты, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

*Кеңесбек Ә.* – Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия Ұлттық университетінің аға маманы, Нұр-Сұлтан, Қазақстан.

**A.S. Tulebekova<sup>1,3</sup>, Ye. Ashkey<sup>2</sup>, A.K. Zhankina<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>Kazakhstan Geosynthetics Society, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>2</sup>KGS-Astana, LTD, Nur-Sultan, Kazakhstan

<sup>3</sup>L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan

E-mail: krasavka5@mail.ru, yrgenashkey@mail.ru, zhankina90@mail.ru

**Experience in pile testing on different construction sites**

**Abstract.** The paper presents the experience of soil testing with piles at various construction sites in Kazakhstan. Different methods are chosen in the field tests depending on the engineering and geological conditions and objectives. The choice of each is guided by the use of special equipment and devices. Soil tests with piles have an advantage to date. It is important to determine the size and type of piles that will be used in the foundation. The maximum depth of the pile is checked with the predicted load. The paper presented discussion of the technical features of each method, the justification of the selected solution. Analysis of experience is a very important aspect, of the successful implementation of megaprojects and new construction.

**Keywords:** field test, soil, features, pile, bearing capacity, device.

DOI: doi.org/10.32523/2616-7263-2022-138-1-76-82

**Introduction**

Accumulated in the field of development and implementation of construction projects, advanced urban planning ideas, and best practices can be the basis for quality and reliable construction, as well as serve the emergence of new ideas and improve the methodology of engineering and geological studies. The various methods used on construction sites in the world are presented in Table 1[1].

**Table 1**

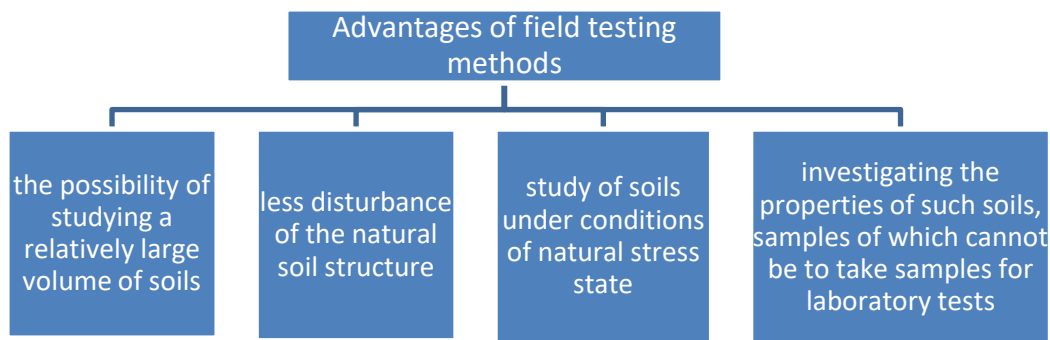
**Testing methods for foundation [1]**

Preliminary survey		Geological investigations in the design stage		Control investigations	
Investigation of the topographical and hydrogeological maps, archival material, geological investigations	Clay soil (CPT, SS, DP, SPT, GW, PMT)	pre-selection of the type of foundation	pile foundation WST, CPT, DP, SPT, FVT, PMT, PIL	The final choice of the type of foundation	pile foundation pile; sonic pile test; GWC; measurement of settlement
			shallow foundation WST, CPT, DP, FVT, DMT, PMT, GW, BJT		shallow foundation control of type of soil; CPT, control of the settlement
	Sandy soil (CPT, SS, DP, SPT, GW, PMT, DMT, GW)	pre-selection of the type of foundation	pile foundation CPT, DP, SPT, FVT, DMT, GWO, pile integrity tests	The final choice of the type of foundation	pile foundation pile; sonic pile test; GWC measurement of settlement
			shallow foundation CPT+DP, SPT, PMT, BJT, GWO		shallow foundation control of the type of soil; CPT, control of t settlement

Weight sounding test (WST); Cone penetration test (CPT); Dynamic probing tests (DP); Standard penetration test (SPT); Field vane test (FVT); Pressure meter test (PMT); Static axially loaded compression

The advantages of field testing methods are shown in Figure 1.



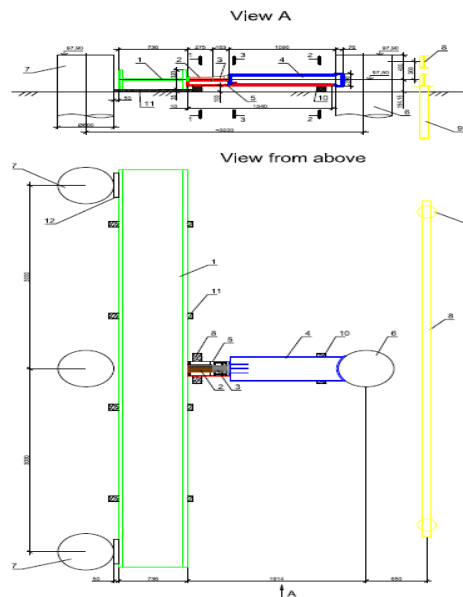


**Figure 1. The advantages of field testing methods**

Methods of field soil investigations provide data on the physical and mechanical properties of soils at depth [2-3]. It is very important to take an integrated approach to geotechnical studies, combining several methods of testing, which allows you to get comprehensive information and avoid errors [4].

### Methods and Materials

Static load tests involve determining the allowable settlement to the ultimate test load and the bearing capacity of the pile. Pilot sites were equipped with the CFA method of bored pile driving, in which, after the auger reaches the design depth, the pile is concreted through a concrete pipeline installed in the hollow auger with the help of a concrete pump. The reaction system for lateral load test CFA piles is presented in Figure 2[5].



1-main beam; 2-hydraulic jack; 3- load cell; 4- reaction beam; 5- channel; 6- test pile; 7- reaction piles; 8- reference system; 9-screw metal piles for reference systems; 10,11- wooden lining; 12- steel plate

**Figure 2. The reaction system for lateral load test CFA piles**

The auger itself is extracted from the pile body at the same time. After the concreting is completed, a reinforcement cage is loaded into the pile by means of a vibratory plunger, and then the anchor stand metal structures are installed and the anchor rods are welded to the anchor piles. The static lateral load test is presented in Figure 3[5].

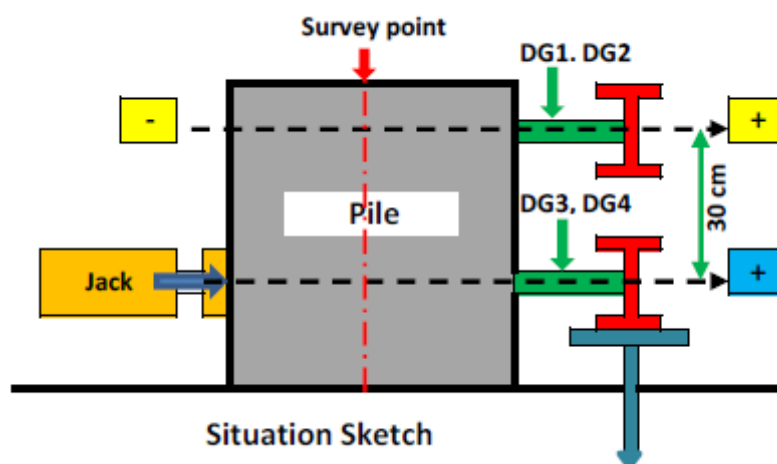


Figure 3. Situation sketch

Table 2 is presented data of 1 cycle load of 150% loading and unloading.

Steps №	Pressure gauge, bar	Load		Average settlement, mm								Rate of measurement, mm/h	Time holding Load,min	
		Incrementally	Incrementally,kN	Loading/unloading		At the endurance time		At the step time		Full				
				DG1, DG2	DG3, DG4	DG1,D G2	DG3, DG4	DG1,D G2	DG3,DG 4	DG1,D G2	DG3,D G4			DG1, DG2
0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
1	60	25	20	0.035	0.065	0.065	0.045	0.100	0.110	0.100	0.110	0.000	0.000	120
2	120	50	40	0.080	0.095	0.100	0.075	0.180	0.170	0.280	0.280	0.020	0.010	120
3	180	75	60	0.185	0.160	0.110	0.085	0.295	0.245	0.575	0.525	0.030	0.025	120
4	240	100	80	0.210	0.190	0.180	0.160	0.390	0.350	0.965	0.875	0.040	0.040	120
5	300	125	100	0.170	0.150	0.290	0.255	0.460	0.405	1.425	1.280	0.075	0.060	120
6	360	150	120	0.190	0.170	0.300	0.280	0.490	0.450	1.915	1.730	0.065	0.065	120
7	240	100	80	-0.170	-0.220	-0.010	-0.010	-0.180	-0.230	1.735	1.500			15
8	120	50	40	-0.455	-0.400	-0.0	-0.010	-0.455	-0.410	1.280	1.090			15
9	0	0	0	-0.465	-0.415	-0.170	-0.165	-0.635	-0.580	0.645	0.510			60

The second construction site is located in the Almaty region, Kazakhstan. At the same time, the loads on the tested pile were transmitted centrally and coaxially. To perform static tests, an individually designed test stand was used in the form of a thrust structure to absorb reactive forces, developed in accordance with the requirements of GOST 5686-2012[6]. In the applied construction of the test stand, the pile head loads are created due to the pressure in the hydraulic circuit of the jack system. The load-carrying structure consists of an anchoring unit. The maximum penetration load on the tested pile was - 160.0 Tf. The force generated by the jacks on the first load step was 16.0 Tf, each successive load step had

an increase of 16.0 Tf. General view of the measuring system is presented in Figure 4[7].



**Figure 4. General view of the measuring system [7]**

At each stage of pile loading, readings (test information) were taken by all instruments at intervals from 15 to 30 minutes, the total dwell time was at least 180 minutes or until the pile movement (settlement) faded, called its conditional stabilization. According to the pile design, its displacement (settlement) rate in the ground, according to GOST 5686, of no more than 0.1 mm for the last 60 minutes of observations at a given stage of loading was taken as conditional stabilization of the pile. Zero reading from the instruments was taken before the pile was loaded. The first reading was immediately after the application of the first loading stage, then the readings were taken every 15 min successively up to four times, then three times 30 min or until the deformation stabilization (damping of displacement). The holding time of each stage, from the first to the ninth, under indentation loads was 180 min for each stage. Data of loading and unloading were presented in Table 3[7].

**Table 3**

**Data of loading and unloading**

Loading steps	Force by the jack, Tf
1	16.0
2	32.0
3	48.0
4	64.0
5	80.0
6	112.0
7	128.0
8	289.0
9	144.0
10	160.0
Unloading steps	
1	128.0
2	96.0
3	64.0
4	32.0
5	0

Study of the length and pile integrity, by carrying out full-scale express control of the continuity of reinforced concrete bore piles by non-destructive method of acoustic defectoscopy, in accordance with the provisions of the STP RK 07-02.2-2011. The testing pile presented in Figure 5.

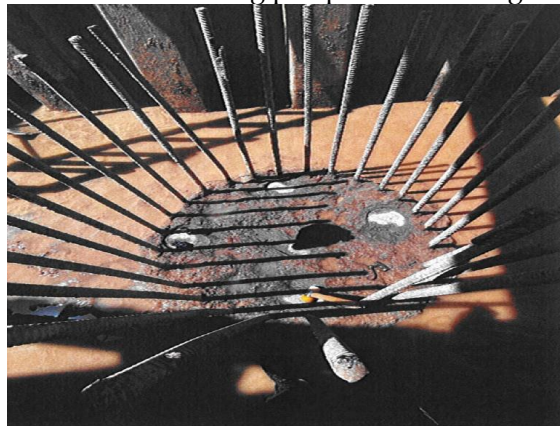


Figure 5. Pile integrity test [7]

### Results and discussion

The results of soil testing of construction site 1 presented in Figure 6 and construction site 2 in Figure 7.

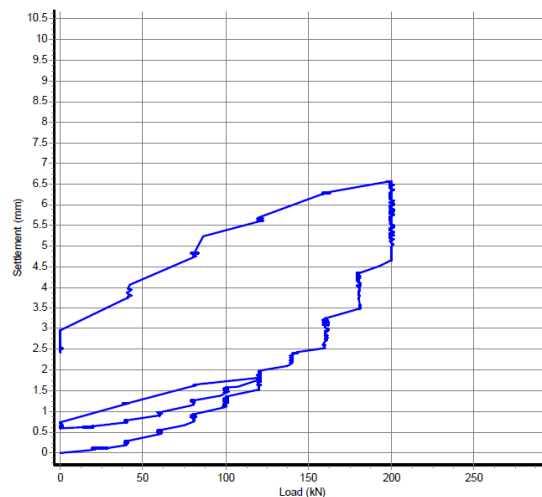


Figure 6. Settlement Graph

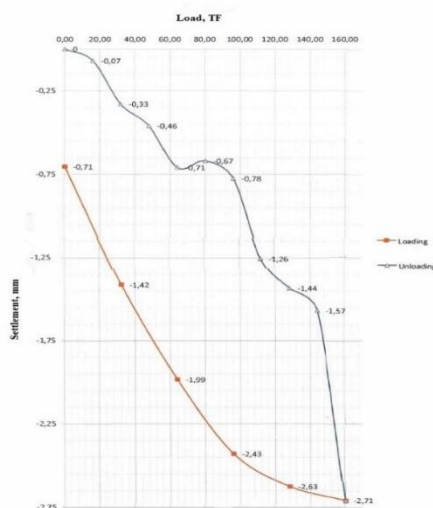


Figure 7. Graph of the results of all stages of testing

The static test of the pile with indentation loads showed that at the tenth stage of the load at the maximum indentation load equal to 160.0 Tf a stabilization of the pile deformation was recorded, at that averaged settlement by the last averaged measurement of the control devices (indicators) was about 2.71 mm. According to SP RK 5.01-103-2013 [8] in case of the occurrence of these conditions for the limiting resistance of the pile under the indentation loads, according to the results of the conducted tests, the load of 160.0 Tf. The analysis of settlement increment graphs shows the operation of foundation soil in the elastic stage. The test results show that the bearing capacity of the pile is sufficient to withstand the maximum design indentation load. Regarding results of pile integrity test was that the actual measured length, after statistical processing, is estimated as corresponding to the design one. Taking into account the peculiarities of the method and the hardware error of the device. Zones of violation of concrete continuity and decompaction in the cross-section of pile were not detected.

### Conclusions

Many factors guide the choice of the field test method, some of which are soil composition, soil condition, complexity categories of geotechnical conditions, design loads, embedding depths, and the type of foundation to be designed.

Quality control of pile installation works needs to ensure plumpness, pile toe, pile length, details of the reinforcing steel, concrete samples for the strength test. Data on the preparation of reinforcement, quality, and volume of concrete must record in the pile installation log. Field tests should be combined with other methods determining the composition, condition and properties of soils in order to interpret the data, identify relationships between soil characteristics determined by different methods, and assessment of their reliability. According to the analysis of the research conducted, various research methods were used and in combination

### References

1. Design of pile foundations following Eurocode 7 / Roger Frank // Journal Development of Urban Areas and Geotechnical Engineering. — 2007. — No. 11. — P. 119–130.
2. Vertical displacement of bored piles group for project of LRT using numerical analysis / A. Zhussupbekov // International Journal of GEOMATE. — 2021. — No. 20, № 80. DOI: 10.21660/2021.80.j2083
3. Non-destructive testing of bored piles/ A. Tulebekova, N. Shakirova, A. Zhankina, Y. Muratov // Technobius. — 2021. — Vol. 1, No. 3. — P. 0002. DOI: 10.54355/tbus/1.3.2021.0002
4. Advances in Quality Control Methods for Bored Pile and Diaphragm Wall Foundations with Case Histories / P.J. Hannigan, G. Pisciacko // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. — 2021. — Vol. 727, No. 1. — P. 012030. DOI: 10.1088/1755-1315/727/1/012030
5. Report №2 / KGS, LTD, 2018.
6. Methods for field testing by piles. / GOST 5686-2012 – 2012.
7. Working Project «Big Almaty Ring Road Construction» Survey Materials, Geological Report // «Research and Manufacturing Company Kazdorinnovaciya» LLP, Almaty 2019. 2019.
8. Pile foundation. / SP RK 5.01-103-2013.



**С. Тулебекова<sup>1,3</sup>, Е. Ашкей<sup>2</sup>, А.К. Жанкина<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>Қазақстан геосинтетикалық қоғамы, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>2</sup>ЖШС KGS-Astana, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

<sup>3</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-Сұлтан, Қазақстан

### **Қадалармен топырақтың статикалық сынақтарын жүргізу ерекшеліктері**

**Аңдатпа.** Мақалада Қазақстанның түрлі құрылыс алаңдарында қадаларға топырақ сынақтарын жүргізу тәжірибесі ұсынылған. Далалық сынақтар кезінде инженерлік-геологиялық жағдайлар мен міндеттерге байланысты әртүрлі әдістер таңдалады. Олардың әрқайсысын таңдау арнайы жабдықтар мен құрылғыларды қолданумен байланысты. Бүгінгі таңда қадалар көмегімен топырақты сынау айтарлықтай артықшылыққа ие. Іргетаста қолданылатын қадалардың мөлшері мен түрін анықтау маңызды. Қаданың максималды тереңдігі болжамды жүктемені ескере отырып тексеріледі. Жұмыста әр әдістің техникалық ерекшеліктері, таңдалған шешімнің негіздемесі талқыланады. Тәжірибені талдау өте маңызды аспект, мегажобаларды сәтті іске асыру және жаңа құрылыс болып табылады.

**Түйін сөздер:** далалық сынақтар, топырақ, сипаттамалары, қадалар, жүк көтергіштігі, құрылғысы.

**А.С.Тулебекова<sup>1,3</sup>, Е.Ашкей<sup>2</sup>, А.К.Жанкина<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>ОО Казахстанское Геосинтетическое Общество, Нур-Султан, Казахстан

<sup>2</sup>ТОО KGS-Astana, Нур-Султан, Казахстан

<sup>3</sup>Евразийский национальный университет им. Л. Н. Гумилева, Нур-Султан, Казахстан

### **Опыт проведения испытаний свай на различных строительных площадках**

**Аннотация.** В статье представлен опыт проведения испытаний грунтов сваями на различных строительных площадках Казахстана. В зависимости от инженерно-геологических условий и задач при полевых испытаниях выбираются различные методы. Выбор каждого из них обусловлен использованием специального оборудования и приборов. Испытания грунта с помощью свай на сегодняшний день имеют значительное преимущество. Важно определить размер и тип свай, которые будут использоваться в фундаменте. Максимальная глубина погружения сваи проверяется с учетом прогнозируемой нагрузки. В работе представлено обсуждение технических особенностей каждого метода, обоснование выбранного решения. Анализ опыта является очень важным аспектом, успешной реализации мегапроектов и нового строительства.

**Ключевые слова:** полевые испытания, грунт, особенности, свая, несущая способность, устройство.

#### **Information about authors:**

*Tulebekova A.S.* – Ph.D., Associate Professor, Member of Kazakhstan Geosynthetics Society, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Ashkey Y.* – Manager at KGS-Astana, LTD, Nur-Sultan, Kazakhstan.

*Zhankina A.* – Ph.D. student in Construction, Member of Kazakhstan Geosynthetics Society, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Nur-Sultan, Kazakhstan.

**Тулебекова Ә.С.** – Ph.D., доценті, Қазақстан Геосинтетикалық қоғам мүшесі, Л. Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Нұр-сұлтан, Қазақстан.

**Ашкей Е.** – ЖШС KGS-Astana компанияның менеджері, Нұр-сұлтан, Қазақстан.

**Жанкина А.** – Құрылыс кафедрасының докторанты, Л. Н.Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Қазақстан Геосинтетикалық қоғам мүшесі, Нұр-сұлтан, Қазақстан.

Бас редакторы: **Г.Т. Мерзалинова**

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.

- 1(138)/2022 - Нұр-Сұлтан: ЕҰУ. - 83 б.

Шартты б.т. - 5,2. Таралымы - 10 дана.

Басуға қол қойылды: 31.03.2022 ж.

Ашық қолданыстағы электронды нұсқа: <http://bultech.enu.kz>

Мазмұнына типография жауап бермейді

Редакция мекен-жайы: 010008, Қазақстан Республикасы Нұр-Сұлтан қ.,  
Сәтбаев көшесі, 2.

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті

Тел.: +7(71-72) 70-95-00 (ішкі 31-410)

Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің баспасында  
басылды