



Қазақстан Республикасы  
Ұлттық инженерлік академиясының

# ХАБАРШЫСЫ

---

## ВЕСТНИК

Национальной инженерной академии  
Республики Казахстан

№ 4 (90)

Алматы  
2023

**МЕЖДУНАРОДНЫЙ  
НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ ЖУРНАЛ  
ВЕСТНИК НАЦИОНАЛЬНОЙ ИНЖЕНЕРНОЙ АКАДЕМИИ РК**

**ГЛАВНЫЙ РЕДАКТОР**  
**академик Б. Т. ЖУМАГУЛОВ**

**РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ:**

**Н. М. Темирбеков** – академик, заместитель главного редактора; **Е. И. Имангалиев** – ответственный секретарь; академик **Ж. М. Адиллов**, академик **А. Ч. Джомартов**, академик **Р. А. Алшанов**, академик **М. Ж. Битимбаев**, академик **А. В. Болотов**, академик **А. И. Васильев** (Украина), академик **Б. В. Гусев** (Россия), академик **Г. Ж. Жолтаев**, академик **В. Ч. Вуйцик** (Польша), академик **К. К. Кадыржанов**, академик **К. С. Кулажанов**, академик **А. А. Кулибаев**, академик **М. М. Мырзахметов**, академик **Х. Милошевич** (Сербия), академик **Г. А. Медиева**, академик **А. М. Пашаев** (Азербайджан), академик **А. К. Тулешов**, академик **Б. Б. Телтаев**, академик **Ю. И. Шокин** (Россия).

**INTERNATIONAL  
SCIENTIFICALLY-TECHNICAL JOURNAL  
HERALD TO NATIONAL ENGINEERING ACADEMY  
OF THE REPUBLIC OF KAZAKHSTAN**

**B. T. ZHUMAGULOV**  
**Editor-in-Chief, academician**

**THE EDITORIAL BOARD:**

**N. M. Temirbekov** – academician, Deputy Editor; **Y. I. Imangaliyev** – Managing Editor; **Zh. M. Adilov**, academician; **A. Ch. Dzhomartov**, academician; **R. A. Alshanov**, academician; **M. Zh. Bitimbayev**, academician; **A. V. Bolotov**, academician; **A. I. Vasilyev**, academician (Ukraine); **B. V. Gusev**, academician (Russia); **G. Zh. Zholtayev**, academician; **Wójcik Waldemar** academician (Poland); **K. K. Kadyrzhanov**, academician; **K. S. Kulazhanov**, academician; **A. A. Kulibayev**, academician; **M. M. Myrzakhmetov**, academician; **H. Miloshevich**, academician (Serbiya); **G. A. Mediyeva**, academician; **A. M. Pashayev**, academician (Azerbaijan); **A. K. Tuleshov**, academician; **B. B. Teltayev**, academician; **Yu. I. Shokin**, academician (Russia).

## **УЧРЕДИТЕЛЬ:**

Республиканское общественное объединение  
«Национальная инженерная академия Республики Казахстан».

Издается с 1997 года.

Выходит 4 раза в год.

Свидетельство о регистрации издания № 287 от 14.11.1996 г.,  
выдано Национальным агентством по делам печати и массовой информации  
Республики Казахстан.

Свидетельство о перерегистрации № 4636-Ж от 22.01.2004 г.,  
выдано Министерством информации Республики Казахстан.

Журнал включен Комитетом науки Министерства образования и науки Республики Казахстан  
в перечень изданий для публикации основных результатов научно-технических работ соис-  
кателей ученых степеней доктора философии PhD и доктора по профилю и ученых званий  
доцента и профессора.

Журнал включен в международную англоязычную базу реферативных данных по техниче-  
ским наукам INSPEC.

Подписку на журнал можно оформить в отделениях связи АО «Казпочта»,  
ТОО Агентстве «Евразия пресс» и ТОО Агентстве «Еврика пресс».

### ***Подписной индекс:***

для физических лиц – **75188**,  
для юридических лиц – **25188**.

Подписка продолжается в течение года.

Адрес редакции: 050010, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 80, к. 415.

Тел. 8-7272-915290, факс: 8-7272-915190,

e-mail: [nia\\_rk@mail.ru](mailto:nia_rk@mail.ru), [ntpneark@mail.ru](mailto:ntpneark@mail.ru), [www.neark.kz](http://www.neark.kz)

## **FOUNDER:**

Republic public association  
“National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan”.

Published since 1997 year.

Issued 4 times a year.

Certificate about registration the edition N 287, November, 14, 1996,  
was given by National agency on affaires of press and mass information  
of the Republic of Kazakhstan.

Certificate about re-registration N 4636-Zh, January, 22, 2004,  
was given by Ministry of information of the Republic of Kazakhstan.

The Committee of Science of Ministry of Education and Science of the Republic of Kazakhstan has included the Journal into the list of issues for publication of the main results of scientific-technical investigations of applicants for scientific degrees ( Doctor philosophy PhD, Doctor on specialization) and academic ranks (Professor and Associate professor).

The Journal was included into international English-language abstracts database on technical sciences “INSPEC”.

Subscription to journal may be drawn up at post offices of OJSC “Kazpochta”,  
in PLL Agency “Evraziya press” and PLL Agency “Evriska press” .

### ***Subscription index:***

for natural persons – **75188**,

for juristic persons – **25188**.

Subscription continues during a year.

Address of editorial offices: 050010, Almaty city, Bogenbay Batyr str., 80, off. 415.

Tel. 8-7272-915290, fax: 8-7272-915190,

e-mail: [nia\\_rk@mail.ru](mailto:nia_rk@mail.ru), [ntpneark@mail.ru](mailto:ntpneark@mail.ru), [www.neark.kz](http://www.neark.kz)



---

---

## СОСТОЯЛСЯ X САММИТ ОРГАНИЗАЦИИ ТЮРКСКИХ ГОСУДАРСТВ



В Астане под председательством Касым-Жомарта Токаева прошел X саммит Организации тюркских государств.

Касым-Жомарт Токаев с особой теплотой встретил глав государств, прибывших в Казахстан – родной очаг тюркских народов – для участия в совещании высокого уровня. Президент обратил внимание на то, что созданный по инициативе Казахстана Совет сотрудничества тюркоязычных государств сегодня стал полноценной международной организацией.

– Был одобрен документ под названием «Перспективы тюркского мира – 2040». Самое главное, мы укрепили единство братских стран. Мы продемонстрировали всему миру приверженность нашим общим ценностям. Мы исполняем волю наших предков и укрепляем сотрудничество тюркских народов. Теперь цель состоит в том, чтобы сохранить наше единство, основанное на взаимном доверии и братстве, и передать его следующим поколениям. Тюркский мир на равных взаимодействует с глобальными державами. Другие государства теперь считаются с ключевыми установками нашей Организации. Поэтому расширение взаимодействия между тюркскими народами является для всех нас общей задачей, – подчеркнул Касым-Жомарт Токаев.

Президент отметил, что наша страна заинтересована в дальнейшем развитии Организации тюркских государств и заявил, что председательство Казахстана в организации будет проходить под девизом «Тюркская эпоха!», или «TURKTIME!».

Данная аббревиатура отражает восемь приоритетов, которым будет уделено первостепенное внимание: традиции (Traditions), унификацию (Unification), реформы (Reforms), знания (Knowledge), доверие (Trust), инвестиции (Investments), медиацию (Mediation) и энергию (Energy). В своем выступлении Глава государства отдельно остановился на каждом из этих приоритетов.

По словам Президента, популяризация тюркского единства имеет большое значение, так как нас связывают общая история, культура, язык и менталитет. В связи с этим он обратил внимание на необходимость приведения флагов и эмблем Организации тюркских государств и ее структур к единому образцу.

– Сегодня мы вместе рассмотрим представленные эскизы и примем совместное решение. Это станет историческим моментом. Наш долг – изучить общие архивы и донести историческую правду до потомков. Предлагаем поручить соответствующим структурам совместно изучить неисследованные источники. Это действительно очень важная работа, потому что в нашей общей истории имеются белые пятна, которые предстоит изучить. Также важно заняться взаимным продвижением телесериалов, которые снимают в наших странах. Особенно важно широко популяризировать анимационные фильмы для детей. Мы считаем, что для этой цели нужно использовать социальные сети, привлекать популярные медийные личности. Тем самым, несомненно, появится возможность для духовного сближения нашей молодежи, – сказал Президент.

По мнению Главы государства, следует обеспечить синхронное развитие тюркских государств. Он предложил систематизировать стандарты и терминологию государств – членов Организации.

– В связи с этим я призываю вас в кратчайшие сроки рассмотреть типовой законопроект и одобрить его. Эта инициатива открывает путь к свободному экспорту наших товаров на общий рынок. Единые стандарты позволят обеспечить ежегодный рост ВВП примерно на 1 процент. Сейчас валовой внутренний продукт наших стран равен почти 1,4 триллиона долларов. В этом году товарооборот между членами Организации превысил 22 миллиарда долларов. Данный показатель можно увеличить в 1,5 раза, если будут утверждены общие требования. Кроме того, считаю целесообразным создание Референс-центра Организации тюркских государств. Этот центр позволит обеспечить взаимное признание результатов испытаний продукции, а также провести новые исследования в области химической и пищевой промышленности, – сказал Касым-Жомарт Токаев.

Третьим приоритетом Президент обозначил реформы. Он озвучил ряд предложений по оптимизации деятельности Организации и международной интеграции.

– Призываю как можно скорее решить вопрос о назначении наших постоянных представителей при Организации тюркских государств. Также приветствуем предложение об увеличении численности сотрудников Секретариата. Необходимо укрепить сотрудничество тюркских государств в избирательной сфере. Следует рассмотреть возможность учреждения консультативного совета центральных избирательных органов. В последнее время наблюдается повышенный интерес к нашей Организации со стороны международных и региональных структур. Мы поддерживаем инициативу о присвоении Организации экономического сотрудничества статуса наблюдателя. Кроме того, мы предлагаем наладить сотрудничество с Исламской организацией по продовольственной безопасности, – заявил Глава государства.

Касым-Жомарт Токаев указал на важность укрепления сотрудничества в области образования и науки на основе научного партнерства. Он призвал руководителей стран – членов Организации уделить особое внимание открытию филиалов лучших университетов мира, проведению совместных научных мероприятий и обмену опытом, созданию языковых отделений, а также развитию искусственного интеллекта, цифровой и аэрокосмической промышленности.

По мнению Главы государства, в условиях нестабильной международной ситуации очень важно укреплять единство тюркских народов.

– Это надежная гарантия нашей общей безопасности. Нарастают вызовы, связанные с торговлей оружием и наркотиками, терроризмом, экстремизмом, миграцией. Для предотвращения подобных угроз необходимо укрепить сотрудничество в области безопасности. В этой связи предлагаю в следующем году провести в Астане третью встречу генеральных секретарей советов безопасности. Важно заключить соглашение о совместной борьбе с преступностью и обмене информацией между органами финансовых расследований тюркских государств, – сказал Касым-Жомарт Токаев.

Глава государства назвал инвестиции шестым приоритетом и призвал лидеров стран расширить межрегиональную торговлю и сосредоточиться на инвестировании в экономику.

– Особую роль в этом деле играет Тюркский инвестиционный фонд. Для укрепления экономических связей необходимо развивать рынок «зеленого» финансирования. Как известно, Казахстан предложил создать Совет тюркских «зеленых» финансов. Поддержана инициатива о присвоении Астане статуса Финансового центра тюркского мира. Искренне благодарю вас за это решение, – отметил Глава государства.

Актуальной задачей Касым-Жомарт Токаев назвал повышение роли медиации. Глава государства привел в пример конфликты между Россией и Украиной, Израилем и Палестиной, проблему нелегальной миграции на Западе, подчеркнув, что обеспечение безопасности является главной задачей.

– В этой связи я принял решение о предоставлении гуманитарной помощи палестинскому народу в размере 1 миллиона долларов. Решение насущных проблем, которые не решались десятилетиями, путем насилия и террористических актов абсолютно неприемлемо. Казахстан решительно осуждает такие методы. Обострение ситуации может привести к серьезным последствиям. В этой связи мы призываем разрешать любые конфликты исключительно путем мирных переговоров и дипломатического диалога. Для нас сохранение территориальной целостности всех государств и невмешательство в их внутренние дела – ключевые приоритеты. Важно неукоснительно исполнять резолюции Совета Безопасности Организации Объединенных Наций и соблюдать нормы международного права. Не секрет, что сейчас наблюдается застой в работе Совета Безопасности ООН. В такой ситуации следует усилить роль Генеральной Ассамблеи. В то же время необходимо быть более конструктивным в деле реформирования Совета Безопасности, – подчеркнул Президент.

Отдельно Касым-Жомарт Токаев остановился на восьмом приоритете – энергии – и озвучил инициативы нашей страны в этой сфере.

– Казахстан уделяет большое внимание развитию новых источников энергии, модернизации и диверсификации путей ее транспортировки. Особый интерес для нас также представляет внедрение лучших практик и технологий в геологоразведку и производ-

ство электроэнергии. В приоритете также развитие нефтехимической промышленности и совместная работа в сфере «зеленой» энергетики. Я предложил провести в этом году в Казахстане Международный энергетический форум. Считаю, что проведение мероприятия такого уровня позволит детально обсудить все обозначенные вопросы. Вопросы изменения климата и устойчивого развития рассматриваются в Казахстане в числе ключевых. По инициативе нашей страны в 2026 году планируется проведение регионального саммита, посвященного проблеме изменения климата. Уверен, что братские тюркские народы поддержат все эти инициативы, – сказал Глава государства.

В заключение лидер Казахстана призвал глав тюркских государств к единству. Обращая внимание на важность сплочения в противодействии вызовам и угрозам, оказания взаимной поддержки и принятия совместных эффективных мер, он отметил, что все это способствует процветанию тюркского мира и укреплению единства стран.

На саммите также выступили действующий председатель Организации – Президент Узбекистана Шавкат Мирзиёев, Президент Азербайджана Ильхам Алиев, Президент Кыргызской Республики Садыр Жапаров, Президент Турции Реджеп Тайип Эрдоган, Председатель Халк Маслахаты Туркменистана Гурбангулы Бердымухамедов, Премьер-министр Венгрии Виктор Орбан, Генеральный секретарь Организации тюркских государств Кубанычбек Омуралиев.

По итогам саммита главы государств поставили перед Организацией ряд целей и задач. Был подписан ряд важных документов. Наряду с этим, за значительный вклад в укрепление единства тюркского мира Президент Республики Узбекистан Шавкат Мирзиёев награжден «Высшим орденом Тюркского мира».

Список документов, подписанных в ходе X саммита Организации тюркских государств:

1. Астанинский Акт;
2. Декларация X саммита Организации тюркских государств;
3. Решение глав государств о награждении Президента Узбекистана Шавката Мирзиёева «Высшим орденом Тюркского мира»;
4. Решение глав государств о присуждении статуса Финансовых центров тюркского мира;
5. Решение о принятии новых флагов тюркских организаций сотрудничества;
6. Решение глав государств о назначениях;
7. Решение о предоставлении статуса наблюдателя Организации экономического сотрудничества в Организации тюркских государств;
8. Решение об утверждении дня 6 февраля Днем памяти жертв катастрофы и солидарности Организации тюркских государств;
9. Решение о Правилах управления бюджетом Секретариата Организации тюркских государств;
10. Решение о разработке «Положения о Постоянных представителях Организации тюркских государств»;

Протокол о сотрудничестве между соответствующими учреждениями государств – членов Организации тюркских государств в области метрологии;

Совместный План действий (Дорожная карта) организации тюркских государств по реализации Программы транспортной связи на 2023-2027 годы.

<https://www.akorda.kz/ru/sostoyalsya-x-sammit-organizacii-tyurkskih-gosudarstv-3105444>

---

---

# ИНФОРМАЦИОННО-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ

УДК 004.04

<https://doi.org/10.47533/2023.1606-146X.30>

**Ж. К. АБДУГУЛОВА, М. Н. ТЛЕГЕН, Г. А. УСКЕНБАЕВА, А. К. ШУКИРОВА,  
Ж. М. ТАШЕНОВА, А. К. ЖУМАДИЛЛАЕВА**

*Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан  
E-mail: meruert-0202@mail.ru*

## СИСТЕМА АВТОМАТИЗАЦИИ НАГРЕВАТЕЛЬНОЙ ПЕЧИ

*В данной статье рассматривается печь для термообработки, которая работает в непрерывном режиме под управлением обратной связи по температуре. Из-за ограничений, связанных с датчиками, температура деталей контролируется косвенно. Контроль распределения температуры в печи - схема, которая является фактически открытым контуром в отношении контроля температуры деталей. Печь разделена на четыре зоны контроля температуры, а массовый расход топлива, как природный газ, ко всем горелкам зоны регулируется одновременно для управления температурой этой конкретной зоны. Радиационное излучение на большом расстоянии от зоны к зоне влияет на температуру других зон, когда топливо расходуется в конкретной зоне. Печь работает при температуре свыше 1000 К, а время пребывания деталей в печи составляет порядка нескольких часов. Процесс создания заключается в нагреве предварительно подготовленных деталей из разных материалов до определенной температуры в непрерывно работающей печи аустенизация с последующим быстрым охлаждением закалки в воде, рассоле или масле для получения желаемых металлургических свойств, таких как твердость, вязкость, прочность на сдвиг, растяжение и др. В статье описываем систему работы нагревательной печи аустенизации и разрабатывается полумпирическая модель печи. Разрабатывается модель в двухмасштабном подходе к моделированию для решения задачи минимизации энергопотребления печи.*

***Ключевые слова:** печь, энергопотребление печи, термообработки, температурный профиль рекуператора, энергозатраты системы.*

**Введение.** Актуальность статьи заключается в том, что производство материалов в нагревательных печах считается энергоемким и одним из крупнейших источников выбросов CO<sub>2</sub>. По прогнозам, к 2050 году для удовлетворения потребностей растущего населения ее использование увеличится в 1,5 раза по сравнению с нынешним уровнем.

Основной целью данного исследования является минимизация энергопотребления процесса производства материалов или термообработки, который в настоящее время работает на одном из промышленных предприятий, путем математического моделирования, оптимизации, усовершенствованного управления и интеграции тепла [2].

**Методы и материалы.** В статье используются методы, которые были разработаны ранее: двумерная (2D) физическая модель печи для термообработки, которая



рассчитывает энергопотребление печи и распределение температуры детали как функцию времени и положения в печи при управлении с обратной связью по температуре.

Влияние переменных процесса на микроструктурную эволюцию деталей, используя эмпирическое соотношение, описанное в литературе, и их последующее влияние на металлургические свойства закаленного продукта.

Физическая модель в сочетании с эмпирической моделью используется для моделирования работы печи для партии деталей, обрабатываемых последовательно при эвристических заданных значениях температуры с простой линейной стратегией управления, предложенной операторами завода.

Минимизируем энергопотребление печи без ухудшения качества продукции с помощью оптимизации в реальном времени (RTO) и интеграции тепла с помощью лучистых рекуператоров. Экономия энергии в 3,7%, 15,93% и 20,88% была получена при использовании модельного прогнозирующего управления, интеграции тепла и оптимизированных заданных значений соответственно по сравнению с эталонным эвристическим вариантом работы без интеграции тепла.

Сталь – это материал, используемый в мире, с объемом производства около 1,6 млрд метрических тонн в год. В связи с ростом населения и увеличением мирового благосостояния, прогнозы по использованию стали показывают увеличение на 50% по сравнению с нынешним уровнем к 2050 году.

Произведенная сталь, которая охлаждается с низкой скоростью, довольно мягкая и не является идеальной для многих применений. Поэтому стальные детали часто подвергаются термической обработке, чтобы вызвать желаемые металлургические свойства, такие как твердость, вязкость, прочность на сдвиг и прочность на разрыв. Твердость и прочность обычно повышаются путем закалки - процесса термообработки, который заключается в нагреве готовых или предварительно обработанных деталей до определенной температуры в инертной атмосфере для предотвращения окисления поверхности с последующей быстрой закалкой в масле или воде для перехода в закаленную фазу, называемую мартенситом. Процесс закалки потребляет значительное количество энергии обычно природного газа для нагрева деталей от температуры окружающей среды до температуры около 1050К. Температуру деталей, особенно сердцевины, невозможно определить и измерить.

Следовательно, на практике операторы склонны перегревать детали так, чтобы температура, необходимая для обработки, достигала минимальный порог, тем самым вызывая избыточный расход топлива. Другая причина перегрева заключается в том, что даже если только некоторые части изготавливаемой детали не нагреты в достаточной степени, то вся деталь не будет соответствовать стандартам качества, что приведет к отходам. Поэтому денежный выигрыш от минимизации энергии при нагреве будет уравновешен потерями из-за отбраковки дефектных деталей.

Ограничения, связанные с определением температуры, в сочетании с высоким потреблением энергии, делают печь аустенизации основной целью для усовершенствованной реконфигурации, оптимизации и управления на основе моделей.

В процессе термообработки температура детали повышается, происходит фазовое превращение стали в аустенит, а также микроструктурные изменения, зависящие

от температуры и скорости нагрева. Все эти явления определяют металлургические свойства закаленной стали. Процесс термообработки был изучен как на макроскопическом уровне (т.е. в масштабах длины печи и детали), так и на микроскопическом уровне, рассматривая микроструктурную эволюцию деталей. На макроскопическом уровне было проведено несколько исследований, по моделированию печей были сосредоточены на определении профиля температуры деталей как функции времени (и положения) в печи.

Целью термообработки является автоматизация системы нагревательной печи. Многие исследования металлообрабатывающих печей сосредоточены на толкательных системах. Хотя нагревательные печи геометрически похожи на печи для термообработки, рассматриваемые в данной работе детали, обрабатываемые в нагревательных печах, нагреваются косвенно с помощью излучающих трубчатых горелок. Поэтому при разработке математических моделей для нагревательных печей прямого нагрева необходимо учитывать радиационное взаимодействие газа с поверхностью, в то время как в печах для термообработки с косвенным нагревом, как будет обсуждаться далее, эти взаимодействия являются пренебрежимо малы, и преобладающим способом передачи тепла является излучение от поверхности к поверхности. Поскольку повторный нагрев является этапом предварительной обработки, контакт между деталями или плитами допускается.

С другой стороны, термообработка проводится для упрочнения готовых деталей. Следовательно, детали располагаются на некотором расстоянии друг от друга. Как следствие, радиационное взаимодействие между подобными поверхностями является критическим и должно быть учтено в моделях наряду с взаимодействиями между горелкой и поверхностями деталей.

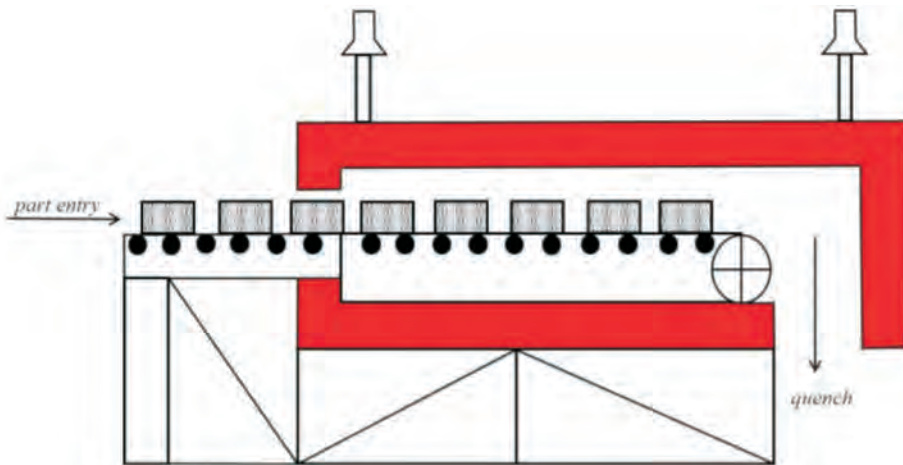
В статье описываем систему работы нагревательной печи аустенизации и разрабатывается полуэмпирическая модель печи. Печь работает в непрерывном режиме под управлением обратной связи по температуре. Температура в печи превышает 1000 К. Поэтому дальнейшее излучение является доминирующим способом передачи тепла. Более того, при нагреве деталей, помимо изменения температуры, изменяется и микроструктура, которая влияет на металлургические свойства закаленного продукта. Поэтому разработанная модель отражает физику на обоих вышеупомянутых масштабах длины: дальнейшее излучение и трансформация микроструктуры.

Проблема оптимизации – это определение условий работы печи, которые минимизируют общее потребление энергии без ухудшения качества продукции. Детали должны быть нагреты за желаемый порог с минимальными неоднородными колебаниями температуры. Также существует ограничение на изменения микроструктуры, чтобы обеспечить желаемые металлургические свойства закаленного продукта. Для решения задачи оптимизации используются суррогатные модели, что позволяет значительно сократить вычислительные затраты.

Сокращение расхода топлива в системе за счет тепловой интеграции с использованием рекуператоров-теплообменников специального назначения, работающих по принципу "подача-выпуск". Моделирование печи и наблюдения на заводе показывают, что значительное количество энергии, поступающей в систему, нерационально сбрасывается в выхлопные газы. Эти потери тепла минимизируются путем передачи

части тепла выхлопных газов для предварительного нагрева воздуха на входе в горелки, тем самым уменьшая количество топлива, необходимого для сжигания. Температура выхлопных газов обычно превышает 1000 К, следовательно, излучение является доминирующим способом передачи тепла в рекуператоре. Моделирование рекуператора с концентрическими трубами учитывает местную конвекцию и зависит от геометрии излучения на большие расстояния.

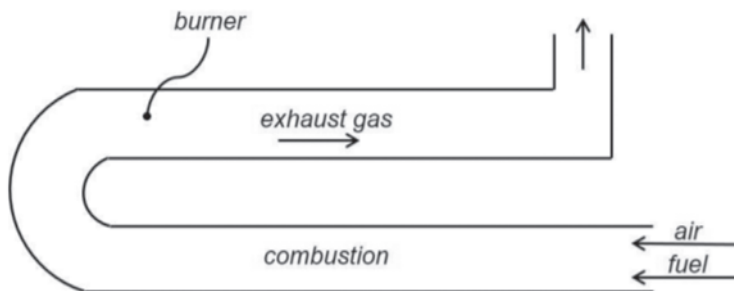
Обзор двумерной (2D) модели печи для термообработки представлен на рисунке 1. Поскольку система работает при температурах выше 1000 К, излучение является доминирующим способом передачи тепла.



**Рисунок 1** – Схема прототипа печи с роликовым подом.

Заштрихованные прямоугольники – это детали, которые нагреваются в печи.

В этой модели, основанной на излучении, печь дискретизируется на три типа поверхностей в зависимости от ее геометрических элементов, а именно горелка, изоляция и нагрузка. Схема дискретизированной двумерной печи показана на рисунке 2. Геометрические детали печи, а также детали и физические свойства, используемые в данной работе.



**Рисунок 2** – Схема U-образной трубчатой горелки, в которой топливо (природный газ) смешивается с воздухом для сжигания. Тепло от горелки косвенно передается деталям в печи преимущественно путем излучения внутри печи.



При разработке модели были сделаны следующие допущения:

1. Масса конвейерной ленты намного меньше массы деталей. Следовательно, конвейерной лентой в модели пренебрегают. Тем не менее, движение деталей внутри печи улавливается.

2. В промышленной системе цилиндрические детали с овальной формой вершины загружаются на лоток и помещаются на конвейерную ленту. Идеализированная прямоугольная геометрия с эквивалентной массой металла рассматривается для ансамбля лотка и находящихся в нем деталей.

3. Поскольку азот является двухатомным газом, радиационный теплообмен между газом и поверхностью отсутствует. Теплообмен между газом и поверхностью происходит только за счет конвекции, а теплопередача от поверхности к поверхности происходит только через излучение [3].

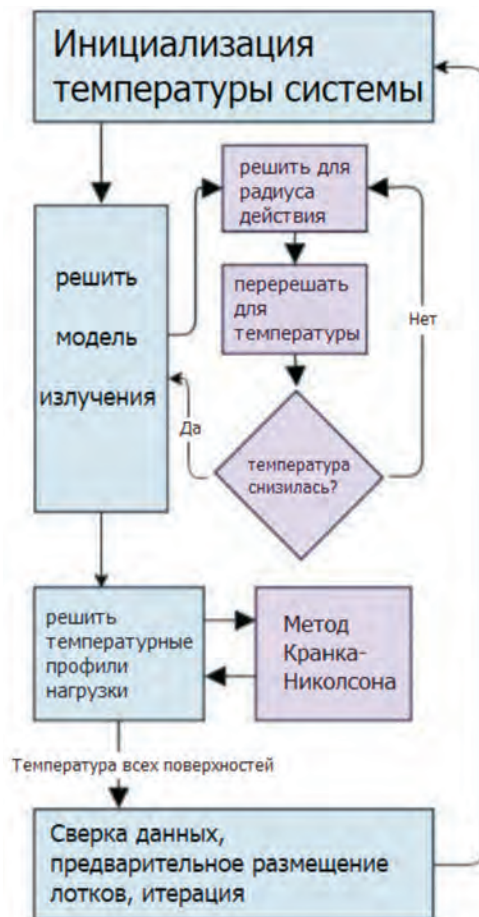
4. Для целей моделирования печь дискретизируется на ряд управляющих объемов для расчета профиля температуры газа по длине печи. Пространственная вариация температуры азота отсутствует.

Параметры нашей модели основаны на практике и оценены на основе следующих данных: температуры зон могут быть измерены как функция времени с помощью термопар, размещенных на средних изоляционных поверхностях каждой зоны, в то время как температура детали на выходе из печи также может быть измерена бесконтактным методом сверхзвуковых измерений.

**Алгоритм решения.** При организации технологического процесса рассматриваем итерационную процедуру решения для уравнений теплопередачи и теплового баланса печи. Движение деталей в печи аппроксимируется как серия дискретных событий. Скорость движения деталей определяется скоростью конвейерной ленты. Шаг по времени и расстояние, которое проходит деталь за один шаг по времени для моделирования печи фиксируется на значении, которое фиксирует значимые изменения в температурном поле при минимальных вычислительных затратах. Вычисление матрицы коэффициентов обзора, зависящих от геометрии, требует больших вычислительных затрат. Для того чтобы повысить скорость, коэффициенты обзора между различными парами поверхностей были предварительно вычислены и занесены в таблицу и геометрия деталей фиксирована. Поэтому предварительно рассчитанную матрицу коэффициентов обзора может быть использована для моделирования печи при различных условиях эксплуатации. После того, как вычисляются коэффициенты обзора, уравнения энергетического баланса решаются с помощью следующей процедуры для расчета температурного и теплового профилей печи как функции времени:

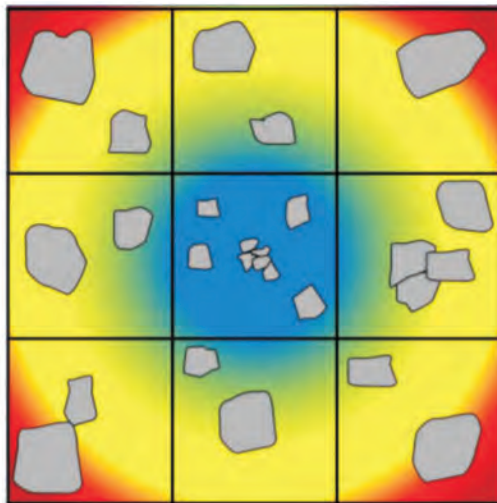
- Инициализировать систему с температурами и тепловыми обязанностями всех поверхностей печи, включая поверхности деталей.
- Определить детали, которые в настоящее время обрабатываются в печи путем учета деталей, которые были удалены, и деталей, которые были вновь введены.
- Решить модель горелки для расчета температур и тепловых значений всех поверхностей горелки для заданного массового расхода топлива, определяемого контроллером обратной связи.
- Решить вопрос об излучениях при заданных температурах поверхностей.

- Используя радианты поверхностей детали и изоляции, рассчитать обновленные температуры и тепловые обязанности поверхностей детали и изоляции.
- Повторять шаги (3)-(5), пока система не сойдется к желаемому допуску.
- Используя тепловые обязанности поверхностей деталей, рассчитать неоднородное распределение температуры всех активных деталей с помощью схемы Кранка-Николсона.
- Используя тепловые обязанности поверхностей изоляции, рассчитать потери тепла в окружающую среду через изоляционные стенки.
- Отрегулировать температуру в зонах до желаемых заданных значений, путем регулирования расхода топлива на горелки (управление с обратной связью).
- Переместить лоток в следующее место, увеличить время на один временной шаг и повторить шаги (2)-(9), пока партия деталей не будет последовательно обработана в печь (рисунок 3).



**Рисунок 3** – Алгоритм решения для расчета температур и тепловых обязанностей всех поверхностей в печи и использование тепловых обязанностей поверхностей деталей для расчета неоднородных распределений температуры деталей.

Для получения бездефектного и структурно прочного продукта необходимо контролировать не только макроскопические свойства, такие как температура, но и контролировать микроскопические свойства, такие как размер зерна аустенита. Микроструктурные изменения происходят на гораздо меньшем масштабе длины по сравнению с макромасштабной температурной эволюцией. Поэтому используется двухмасштабный подход к моделированию для расчета распределения размера зерна в деталях в дополнение к распределению температуры в процессе аустенитизации и их влияния на металлургические свойства закаленного продукта [4,5].



**Рисунок 4** – Иллюстративная диаграмма температуры детали и распределения зерен по размерам.

Иллюстративная диаграмма температуры детали и распределения зерен по размерам показано в рисунке 4. Осажденные зерна аустенита представлены фигурами, заполненными серым цветом. Области вблизи поверхности детали, которые нагреваются излучением, имеют более высокую температуру и, следовательно, более крупные зерна [6]. С другой стороны, внутренние области, которые нагреваются только за счет проводимости, имеют более низкую температуру.

Подход к решению. Итерационный алгоритм используется для решения уравнений сохранения энергии для получения профилей температуры поверхности и газа. Коэффициенты обзора между всеми парами поверхностей для рекуператора рассчитываются заранее, так как геометрия системы фиксирована [7].

Последовательность вычислений в алгоритме решения показана на блок-схеме на рисунке 5. Известны температуры дымовых газов и воздуха на входе.

Температуре первого элемента в канале дымовых газов присваивается значение температуры дымовых газов на входе, а температуре последнего элемента в канале холодного воздуха из-за противоточного расположения потока присваивается значение температуры воздуха на входе. Управляющие уравнения разделены на нерадикационную и радиационную части.

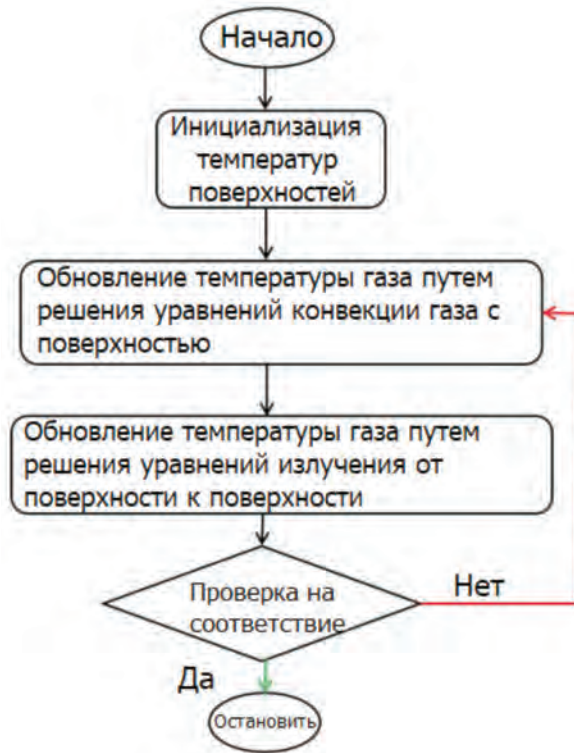


Рисунок 5 – Итерационный алгоритм решения для определения температурного профиля лучистого рекуператора.

Температура последнего элемента в канале горячего воздуха является температурой воздуха на входе в горелку в печи [8].

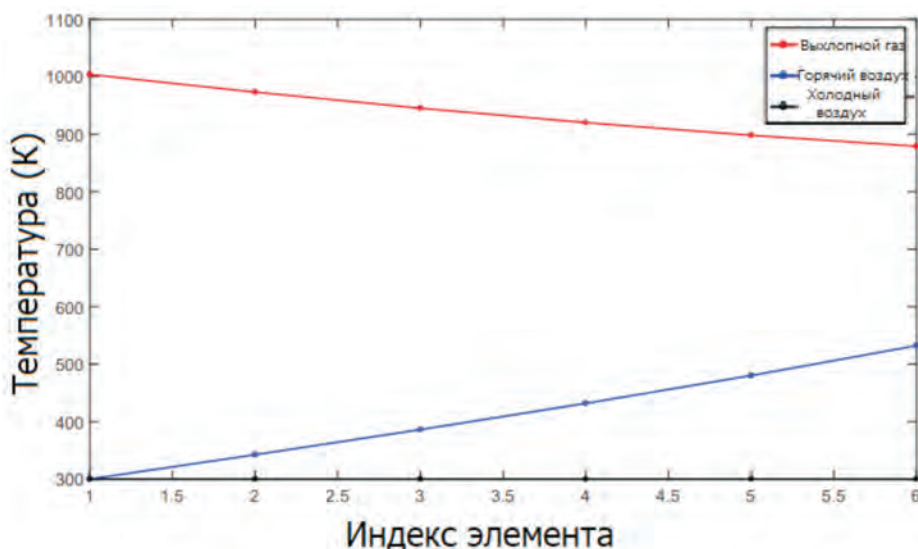
Поскольку коэффициенты обзора между поверхностями значительно отличаются, матрица коэффициентов линейной системы уравнений для расчета излучения, которая зависит от этих коэффициентов обзора, может стать плохо обусловленной.

**Обсуждение результатов эксперимента.** В рассматриваемой модели печи предполагается, что детали движутся дискретно, причем каждая деталь перемещается между заранее определенными местами на каждом временном шаге печи (4 мин). На каждом временном шаге модель печи решается для определения распределения температуры деталей. Контроллер с обратной связью, с другой стороны, определяет и регулирует расход топлива на горелки через другой фиксированный интервал времени, называемый временным шагом контроллера, который может быть больше или равен временному шагу печи. Шаг по времени контроллера равен шагу по времени печи. Массовый расход дымовых газов горелки может изменяться каждый раз, когда контроллер обратной связи активен, т.е. после каждого временного шага контроллера. Однако температура дымовых газов может меняться после каждого временного шага печи, поскольку она зависит от динамики печи. Так как и массовый расход, и температура дымовых газов являются входными данными для рекуператора, уравнения модели решаются с помощью вышеупомянутой итерационной процедурой на каждом

временном шаге топки. За исключением первой и последней частей, печь работает в режиме постоянного входа-выхода. При этом условии происходят лишь незначительные изменения в таких переменных, как скорость потока и температуры выхлопных газов горелки. Поэтому одинаковое начальное предположение о температуре поверхности рекуператора было предоставлено для расчетов для всех горелок во все моменты времени. Потребуется менее 10 итераций, чтобы температуры рекуператора сошлась с соответствующим начальным решением.

Температурный профиль рекуператора в установившемся режиме при постоянном расходе дымовых газов. Наш промышленный партнер предоставил информацию о том, что воздух не должен нагреваться выше 533,15 К для ограничения выбросов NOx. Исходя из уравнений модели и интуиции, максимальный нагрев воздуха происходит при минимальном массовом расходе газов. Было проверено, что при нижней границе массового расхода дымовых газов (0,07 кг/с) это условие выполняется для следующих параметров модели, которые основаны на типичных значениях для данной системы, подтвержденных партнером по отрасли:  $C_{p,F G} = 1,37$  кДж/кг-К,  $C_{p,air} = 1$  кДж/кг-К,  $h_{F G} = 150$  Вт/м<sup>2</sup> -К,  $h_{amb} = 100$  Вт/м<sup>2</sup> -К, и  $k_{ins} = 0,15$  Вт/м-К.

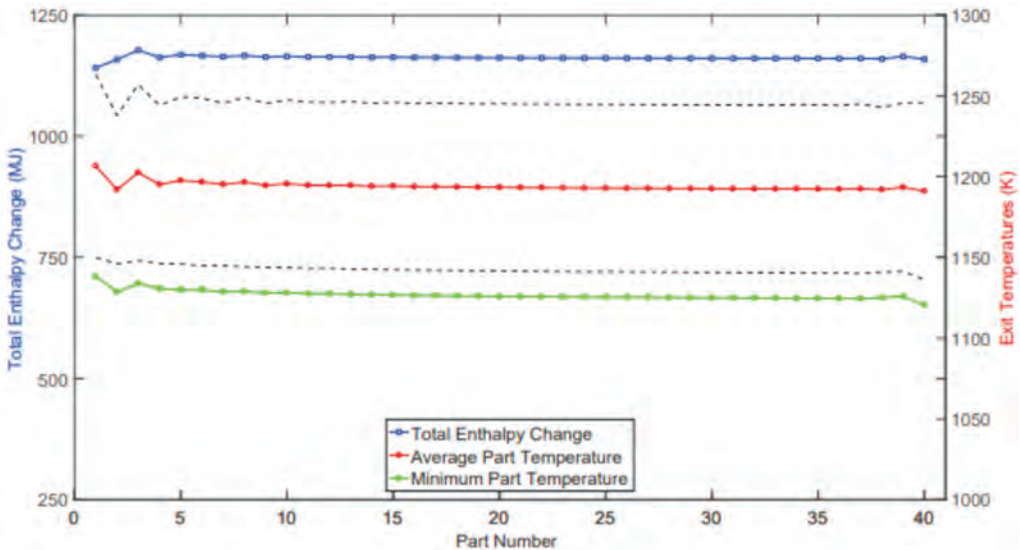
Для этого условия прогнозируемых температур газов в рекуператоре показаны на графике в зависимости от индекса элемента на рисунке 6. Видно, что температура горячего воздуха, представленная синей линией при индексе элемента 6 (выход из рекуператора), близка, но в пределах верхнего предела. Соответствующие температуры поверхности элементов рекуператора показаны на рисунке 7. Поскольку верхний предел температуры горячего газа составляет 533,15 К для массового расхода 0,07 кг/с (нижняя граница горелки), а температура дымовых газов выше 1000 К, почти весь нагрев происходит в канале горячего воздуха из-за его близости к горячему дымовому газу для данного рабочего состояния.



**Рисунок 6** – Температурные профили дымового газа, горячего воздуха и холодного воздуха рекуператора при минимально допустимом расходе топлива на горелку.



Сначала была смоделирована модель печи с рекуператором на каждой горелке при эвристических заданных значениях температуры зоны, предложенных операторами завода: [1000 К, 1150 К, 1200 К и 1250 К] для зон с 1 по 4 соответственно. Печь рассчитана на 8 деталей, и моделирование проводилось для последовательной обработки партии из 40 деталей. Условия выхода всех деталей и изменение энтальпии в системе показаны на рисунке 6. Видно, что минимальная и средняя температуры, представленные зелеными и красными линиями соответственно, достигают постоянного значения в пределах первых 6 частей. В печи меньше деталей и, следовательно, меньше теплоотводов во время работы до и после установившегося состояния постоянного ввода/вывода частей. Следовательно, температуры и энтальпия первых нескольких частей и последних двух частей показывают небольшое отклонение от значений установившегося режима. На рисунке 7 пунктирные линии представляют среднее значение плюс и минус стандартные отклонения в температуры неоднородных частей на выходе из печи [9,10].



**Рисунок 7** – Условия выхода всех 40 деталей, последовательно обработанных в печи, оснащенной рекуператорами, при эвристическом задании температуры зоны заданных значений.

**Закключение.** Проверка модели с помощью измерений в реальном времени будет первым шагом на пути к дальнейшему развитию. Повышение численной точности модели потребует оценки параметров модели на основе данных измерений в реальном времени. Многомасштабная модель является процедурной, поэтому оценка ее параметров является сложной задачей.

Решение проблемы заключается в поиске в пространстве параметров, точки набора значений параметров, соответствующие параметры модели которой хорошо согласуются с экспериментальными наблюдениями. Решение, найденное методом прямого поиска, не- гарантированно является глобальным решением.

В рекуператоре теплообменник обменивается теплом между выхлопными газами горелки и воздухом на входе в ту же горелку. Влияние теплообмена с другой горелкой на экономию энергии, тем самым определяется оптимальная сеть теплообмена. Теплообмен с использованием различных имеющихся в продаже теплообменников, пригодных для работы в температурных условиях печи.

Моделирование печи и наблюдения показывают, что более 40% энергии, поступающей в печь аустенизации, нерационально сбрасывают в выхлопные газы. Поэтому была предпринята попытка минимизировать эти потери путем рекуперации части тепла в газах горелки для предварительного нагрева воздуха, подаваемого в горелки, с помощью рекуператора. Рекуператор кожухотрубного типа моделируется в виде центральной трубы и двух концентрических кольцевых каналов. Разработанная радиационная модель рекуператора учитывает местную конвекцию и дальнейшее радиационное взаимодействие. Работа печи была оптимизирована с использованием суррогатных моделей. Результаты показали 15,93% экономии топлива для печи, оснащенной рекуператорами, в эвристическом случае с незначительными изменениями условий выхода деталей по сравнению с базовым вариантом без рекуператоров. Дополнительная экономия энергии в размере 5,87% была получена, когда печь, в частности, значения местных регуляторов температуры была оптимизирована.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 W. S. Association et al. *Ustojchivaya stal': V osnove zelenoj ekonomiki*. Rue Colonel Bourg, 120, 2012.
- 2 E. F. Camacho and C. B. Alba. *Model'noe prognoziryushchee upravlenie*. Springer Science & Business Media, 2013.
- 3 S. C. Chapra and R. P. Canale. *Chislennyye metody dlya inzhenerov*, tom 2. McGraw-Hill, 2012.
- 4 W. Chen, Y. Chung, and J. Liu. *Analiz energopotrebleniya i proizvoditel'nosti pechej povtornogo nagreva na stane goryachej prokatki. Mezhdunarodnye kommunikacii v teplo- i massoobmene*, 32(5):695-706, 2005.
- 5 Cozad, N. V. Sahinidis, and D. C. Miller. *Obuchenie surrogatnym modelyam dlya optimizacii na osnove imitacionnogo modelirovaniya*. *Zhurnal AIChE*, 60(6):2211-2227, 2014.
- 6 D. Demailly and P. Quirion. *Evropejskaya skhema trgovli kvotami na vybrosy i konkurentosposobnost'*: Issledovanie na primere chernoj metallurgii. *Energy Economics*, 30(4):2009-2027, 2008.
- 7 T. F. Edgar and E. N. Pistikopoulos. *Umnoe proizvodstvo i energeticheskie sistemy*. *Computers & Chemical Engineering*, 2017. doi: 10.1016/j.compchemeng.2017.10.027.
- 8 A. A. Fawcett, G. C. Iyer, L. E. Clarke, J. A. Edmonds, N. E. Hultman, H. C. McJeon, J. Rogelj, R. Schuler, J. Alsalam, G. R. Asrar, et al. *Mogut li obyazatel'stva, prinyatyje v Parizhe, predotvratit' ser'eznoe izmenenie klimata?* *Science*, 350(6265): 1168-1169, 2015.
- 9 H. S. Ganesh, T. F. Edgar, and M. Baldea. *Model'noe prognoziryushchee upravlenie temperatury vyhodnoj chasti pechi dlya austenizacii*. *Processy*, 4 (4):53, 2016.
- 10 H. S. Ganesh, T. F. Edgar, and M. Baldea. *Modelirovanie i model'no-prognosticheskoe upravlenie pech'yu austenitizacii*. *Tekhassko-Viskonsinsko-Kalifornijskij konsorcium po upravleniyu*, fevral' 2016, Ostin, Tekhas, SShA. TWCCC, 2016.

## REFERENCES

- 1 W. S. Association et al. Ustojchivaya stal': V osnove zelenoj ekonomiki. Rue Colonel Bourg, 120, 2012.
- 2 E. F. Camacho and C. B. Alba. Model'noe prognoziryushchee upravlenie. Springer Science & Business Media, 2013.
- 3 S. C. Chapra and R. P. Canale. Chislennyye metody dlya inzhenerov, tom 2. McGraw-Hill, 2012.
- 4 W. Chen, Y. Chung, and J. Liu. Analiz energopotrebleniya i proizvoditel'nosti pechej povtornogo nagreva na stane goryachej prokatki. Mezhdunarodnye kommunikacii v teplo- i massoobmene, 32(5):695-706, 2005.
- 5 Cozad, N. V. Sahinidis, and D. C. Miller. Obuchenie surrogatnym modelyam dlya optimizacii na osnove imitacionnogo modelirovaniya. Zhurnal AIChE, 60(6):2211-2227, 2014.
- 6 D. Demailly and P. Quirion. Evropejskaya skhema trgovli kvotami na vybrosy i konkurenciosposobnost': Issledovanie na primere chernoj metallurgii. Energy Economics, 30(4):2009-2027, 2008.
- 7 T. F. Edgar and E. N. Pistikopoulos. Umnoe proizvodstvo i energeticheskie sistemy. Computers & Chemical Engineering, 2017. doi: 10.1016/j.compchemeng.2017.10.027.
- 8 A. A. Fawcett, G. C. Iyer, L. E. Clarke, J. A. Edmonds, N. E. Hultman, H. C. McJeon, J. Rogelj, R. Schuler, J. Alsalam, G. R. Asrar, et al. Mogut li obyazatel'stva, prinyaty v Parizhe, predotvratit' ser'eznoe izmenenie klimata? Science, 350(6265): 1168-1169, 2015.
- 9 H. S. Ganesh, T. F. Edgar, and M. Baldea. Model'noe prognoziryushchee upravlenie temperatury vyhodnoj chasti pechi dlya austenizacii. Processy, 4 (4):53, 2016.
- 10 H. S. Ganesh, T. F. Edgar, and M. Baldea. Modelirovanie i model'no-prognosticheskoe upravlenie pech'yu austenitizacii. Tekhassko-Viskonsinsko-Kalifornijskij konsorcium po upravleniyu, fevral' 2016, Ostin, Tekhas, SShA. TWCCC, 2016.

**Ж. К. АБДУГУЛОВА, М. Н. ТЛЕГЕН, Г. А. УСКЕНБАЕВА, А. К. ШУКИРОВА,  
Ж. М. ТАШЕНОВА, А. К. ЖУМАДИЛЛАЕВА**

*Еуразия ұлттық университеті. Л. Н. Гумилева,  
Астана, Қазақстан*

### **ЖЫЛЫТУ ПЕШІН АВТОМАТТАНДЫРУ ЖҮЙЕСІ**

*Бұл мақалада температураның кері байланысы бақылауында үздіксіз жұмыс істейтін термиялық өңдеу пеші талқыланады. Датчиктердің шектеулеріне байланысты бөлшектердің температурасы жанама түрде басқарылады. Пештегі температураның таралуын бақылау – бұл шын мәнінде бөлшектердің температурасын бақылауға қатысты ашық контур болып табылатын тізбек. Пеш төрт температураны бақылау аймағына бөлінген және табиғи газ сияқты аймақтағы барлық қыздырғыштарға отынның массалық ағыны сол аймақтың температурасын бақылау үшін бір уақытта бақыланады. Аймақтан аймаққа үлкен қашықтықтағы радиациялық сәуле белгілі бір аймақта отын тұтынылған кезде басқа аймақтардың температурасына әсер етеді. Пеш 1000 К жоғары температурада жұмыс істейді, ал бөлшектердің пеште тұру уақыты бірнеше сағатты құрайды. Жасау процесі әртүрлі материалдардан алдын ала дайындалған бөлшектерді үздіксіз жұмыс істейтін аустениттеу пешінде белгілі бір температураға дейін қыздырудан тұрады, содан кейін қаттылық, қаттылық, кесу сияқты қажетті металлургиялық қасиеттерді алу үшін суда, тұзды ерітіндіде немесе майда жылдам салқындату және сөндіруден*



тұрады. беріктігі, созылу беріктігі және т.б. Мақалада біз аустениттеу жылыту пешінің жұмыс жүйесін сипаттаймыз және пештің жартылай эмпирикалық үлгісін әзірлейміз. Пештің энергия шығынын азайту мәселесін шешу үшін екі масштабты модельдеу тәсілінде модель құрастырылған.

**Түйін сөздер:** пеш, пештің қуат тұтынуы, термиялық өңдеу, регенератордың температуралық профилі, жүйенің энергия шығыны.

**J. K. ABDUGULOVA, M. N. TLEGEN, G. A. USKENBAYEVA, A. K. SHUKIROVA,  
J. M. TASHENOVA, A. K. ZHUMADILLAYEVA**

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

## HEATING FURNACE AUTOMATION SYSTEM

*This article discusses a heat treatment furnace that operates continuously under temperature feedback control. Due to the limitations of the sensors, the temperature of the parts is controlled indirectly. Control of the temperature distribution in the furnace is a circuit that is actually an open loop in relation to the control of the temperature of the parts. The furnace is divided into four temperature control zones, and the mass flow of fuel, like natural gas, to all burners in a zone is controlled simultaneously to control the temperature of that particular zone. Radiation radiation at a great distance from zone to zone affects the temperature of other zones when fuel is consumed in a particular zone. The furnace operates at temperatures above 1000 K, and the residence time of the parts in the furnace is on the order of several hours. The creation process consists in heating pre-prepared parts from different materials to a certain temperature in a continuously operating austenitizing furnace, followed by rapid cooling and quenching in water, brine or oil to obtain the desired metallurgical properties, such as hardness, toughness, shear strength, tensile strength, etc. In the article, we describe the operation system of the austenitization heating furnace and develop a semi-empirical model of the furnace. A model is developed in a two-scale modeling approach to solve the problem of minimizing the energy consumption of a furnace.*

**Keywords:** furnace, energy consumption of the furnace, heat treatment, Temperature profile of the recuperator, energy consumption of the system.

**G. ALPYSBAY\*, A. BEDELBAYEV, A. USMANOVA, ZH. DUISENBEKKYZY**

*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

*e-mail: gulbanu.alpysbay@gmail.com, agyn08@yandex.ru, aseka\_usmanova@mail.ru,  
jansaya\_sugirbaeva@mail.ru*

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF MACHINE LEARNING ALGORITHMS USED IN MALWARE ANALYSIS**

*Despite the achievement of the field of cyber security in the modern world of science and the continuous development of its methods, malware is still one of the biggest threats to information security. Malware is evolving every day, and its types and behaviors are increasing day by day. And the importance of using modern, sophisticated technologies in identifying and combating such complex and diverse malicious programs is increasing. In this regard, it is possible to mention the advantages of using intelligent systems in the field of information security. In this article, we will analyze PE (Portable Executable) files on the Windows operating system, that is, the processes running on the computer and analyzing the malicious programs using machine learning algorithms. At the same time, we will focus on the operation of different machine learning algorithms and show which method is most effective to use for our example.*

*In this article, we will have the following tasks:*

- 1. Providing information about malicious software. Definition of PE files, its structure and nature.*
- 2. Preparation of data for practical work (collection of files with clean and malicious code). An overview of methods for separating files into clean and malicious files.*
- 3. Sorting the signs necessary for training according to pre-prepared files, that is, getting only those signs that allow to achieve the most accurate result during training.*
- 4. Implementation of several machine learning algorithms and selection of the most effective among them.*

**Keywords:** *information security, malicious software, PE files, malware analysis, machine learning, feature.*

**Introduction.** Although the rapid development of information technologies is an achievement of science, it seems that it is becoming more and more difficult to ensure the safety of various information in it. The number of attacks aimed at gaining access to hidden, confidential information is definitely increasing, and each of them is directed against a different target. Many attacks target individuals or organizations to obtain valuable information. But sometimes they are associated with cybercrime or criminal gangs. Malware analysis requires knowledge, skills, and tools to detect, investigate, and defend against such attacks. Malware analysis is an area of research into the functionality, purpose, origin, and potential impact of malware. This task is usually done mostly by hand and involves a lot of labor. To solve it, analysts with an expert level of knowledge about the internal organization of software and reverse engineering are required. Data science and machine learning hold promise for automating some of the steps in malware analysis, but their techniques remain primarily concerned with extracting the most important features from data. This is a very difficult task, which also requires experts-practitioners with a special set of knowledge and skills.

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [gulbanu.alpysbay@gmail.com](mailto:gulbanu.alpysbay@gmail.com)

**Literature review and problem statement.** Malware is code that performs malicious actions; it can take the form of an executable file, script, code, or any other piece of software. Attackers use malware to steal sensitive information in order to spy on an infected system or take control of a system. Malicious software can be embedded in a variety of binary file formats that work in completely different ways. For example, PE files in Windows OS (Portable Executables, with extensions .exe, .dll, .efi, etc.), ELF files in Unix systems (Executable and Linkable Format) and APK files in OS Android (Android Package Kit format with .apk extension, etc.) have completely different internal file structures and require different execution contexts. It is quite natural that for the analysis of each class of executable files, special additional requirements are also completely different. Also, be aware that malware can also exist in forms other than individual binary executables. There are widespread malicious components that infiltrate document files, such as those with extensions .doc, .pdf, and .rtf, and use macros and dynamically executed elements in the document structure to perform malicious actions. Malware can also take the form of extensions and plug-ins for common software platforms, such as web browsers and complex web environments. Figure 1 shows the types of possible threats in the field of information security, including the types of malware and their relationship with other threats [1].

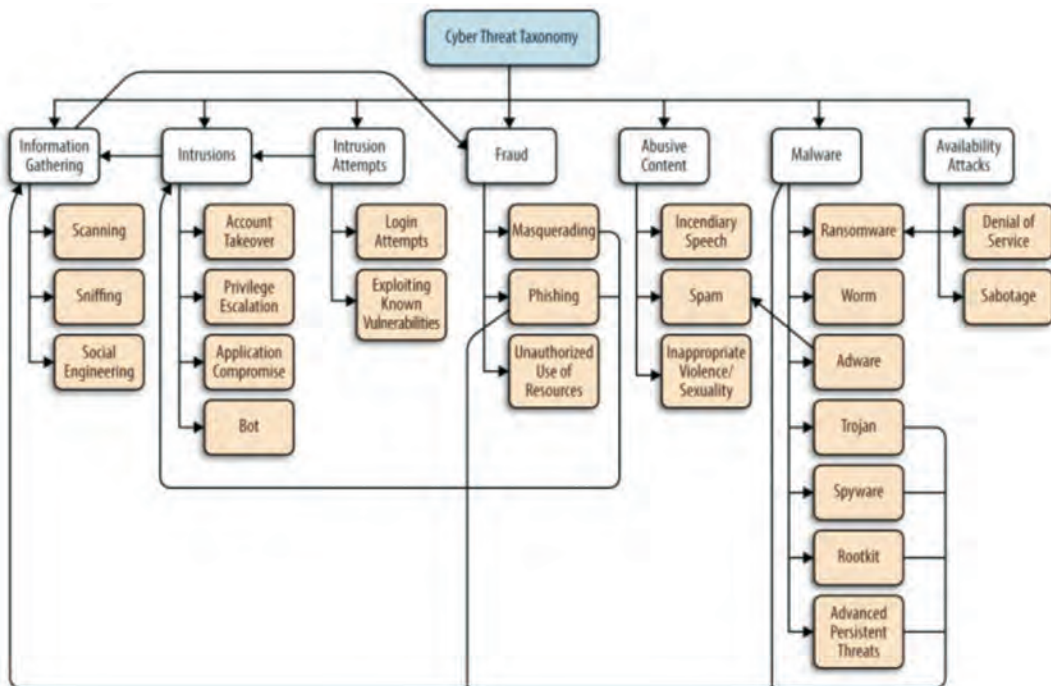


Figure 1 – Types of cyber threats

**Method & Materials.** Virus-creating programmers have learned to successfully bypass signature searches by hiding the virus's body. Polymorphic and metamorphic malware were

able to change their appearance. All this prompted antivirus companies to develop alternative methods of information security protection. According to 2 main directions of research:

1. Static analysis (analysis of the structure of the binary file, its attributes, logical structures, execution flow and data).

2. Dynamic analysis (analysis of the actions of the program during execution).

Each of the methods has its own advantages and disadvantages. It is best to use both of these methods to better detect malware. Each of these methods may fail to detect the presence of a virus in a file. In such cases, planned processing may corrupt the file and lead to loss of information.

Dynamic parsing allows you to bypass binary obfuscation. For example, virus authors make extensive use of packaging systems, code and data encryption, and manipulation of function and control flow. But the same techniques are used by developers to protect intellectual property, making applications harder to reverse engineer. This method isolates several basic operations, such as deleting a file, writing to a file, communicating with the network, opening a port for listening, sending mails, etc. This profile of the file, its activity is studied by an expert or machine learning methods to draw conclusions about the maliciousness of the sample.

However, dynamic analysis is possible only during the execution of the studied code, which makes the operating system vulnerable, and some viruses can determine the execution environment, and behave differently in test and production environments. Thus, the requirement to create environments that are as similar as possible seems to be another problem that needs to be solved.

Static analysis can complement dynamic analysis by providing information about binary file attributes. The static method analyzes the program before execution, extracts attributes from the binary file, calculates statistics, and based on this information makes a judgment about the risk of the file being examined. This approach is safe - the verdict is issued before the file is executed, but it does not work well on files with distorted, wrapped partitions. Also, as the file size increases, the time required for analysis increases. Additionally, to develop a high-quality static analyzer, you need to understand how the binary loader works. Viruses can use some fields of the binary file for their own purposes. For example, in the form of data storage or malicious code execution address [2, 3].

If we focus on the structure of the use of machine learning algorithms in the detection of malicious programs, it can be divided into three main stages and they are (figure 2):

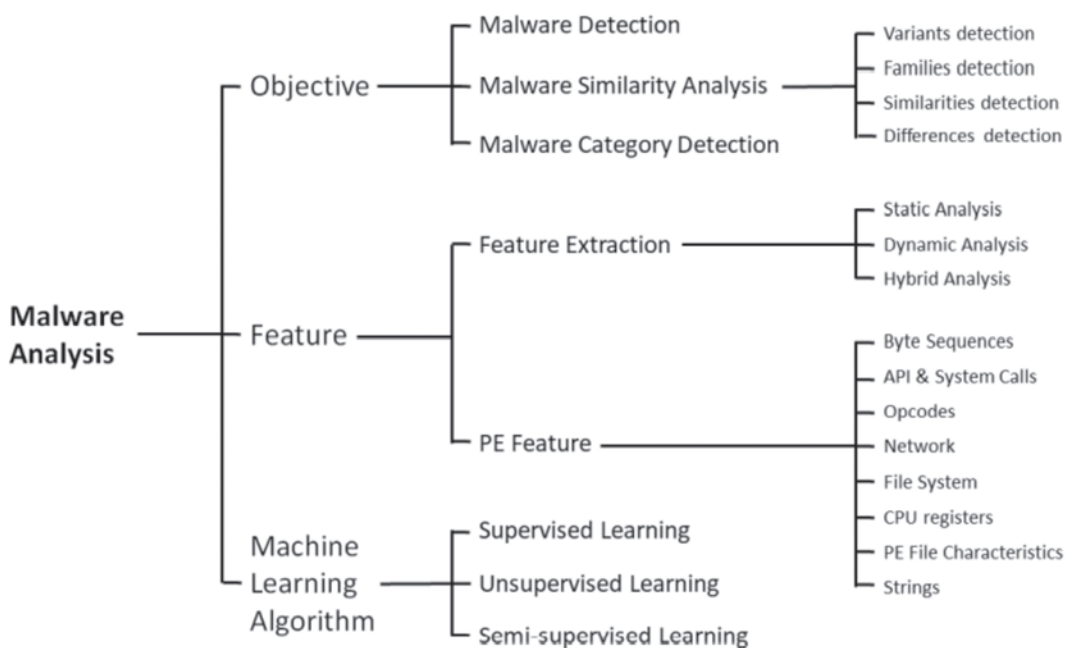
1. Objective analysis, that is, describes the main purpose of the analysis, for example, to determine the malicious program, its type, to which group it belongs.

2. Describes the methods for analyzing features and the features needed for training, for example, the features we need can be obtained by dynamic analysis, static or hybrid analysis.

3. To determine what type of machine learning algorithm is used when creating practical work [4].

So, in the practical part of this article, we will analyze PE files. First of all, let's look at the structure of this type of file (Figure 3). Looking at the details, the PE file structure consists of these components:

- MS-DOS Stub. The PE file starts with this keyword, and this attribute is a dummy.
- PE Signature - 4-byte signature indicating that the file is a PE.



**Figure 2** – Structure of machine learning techniques for malware analysis

– COFF File Header - general information about the file (number of sections, flags, attributes, target machine type).

– Optional Header - detailed information about the file (address space, total size of code sections)

– Section Table - sections, their names, size, address, virtual address.

– Overlay - extract file, end of file [5, 6].

– Among the various attributes and parameters mentioned above, it will be necessary to sort out the signs necessary for machine learning to determine whether the file contains malicious code or not.

– In order to train a classifier, we need to have data that is labeled, i.e. it has been previously determined whether it is harmful or not. For our example, we need to get a set of clean and malicious PE files. There is no problem in finding clean files, you can continue to use the normal executable files in the Windows operating system. Malicious files can also be obtained from open sources these days, for example the following types of data:

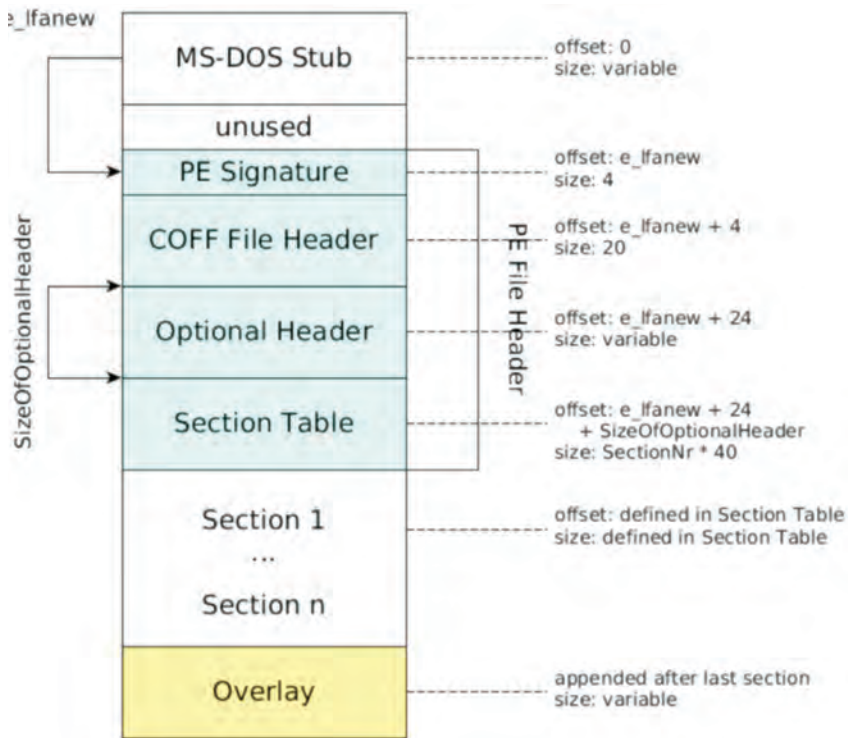
– VirusTotal service, the database contains more than a million files with malicious code in PE format [7].

– MalwareTrafficAnalysis.net website contains comprehensive, fully researched 600 samples of malicious code [8].

– VirusShare.com site 30 million provides an integrated database of malicious code patterns [9];

– VX Heaven team collected 270,000 malicious code samples for scientific use [10];

– In 2015, Kaggle and Microsoft managed to collect more than 10,000 malicious code samples into a single database by organizing the Malware Classification Challenge project [11].



**Figure 3** – Structure of PE file

Next, we determined how and what type of attributes we would use for machine learning from the PE file. We extract the maximum number of features from the file, and then select from them using a greedy algorithm. That is, at each step we will highlight the attribute that can maximize the accuracy of the model/classifier. We repeat this process until we get the highest classifier quality result. We make selections on the training set using 3-fold cross-validation. We use a random forest algorithm to select features.

In addition to the attributes, we calculate the entropy of the partitions. Entropy is calculated as follows (Shannon entropy) [12]:

$$H = -\sum_{i=1}^n p_i \log p_i \quad (1)$$

We take the base of the logarithm as 256, which is equal to the number of possible byte values. Thus, the entropy H will take values from 0 to 1.

High entropy can indicate compression of sections in a file, packages to hide malicious code, and the use of encryptors.

Attributes collected from files:

1. Numeric attribute values taken directly from PE file fields;
2. API participation flags, sections and their descriptions {0, 1}
3. Entropy of sections [13].

Using the methods and algorithms mentioned above, we got a set of exactly 50 features (Table 1) that we need, and with their help we can detect malware.



We will use these sets of extracted features to classify files into malicious or benign types. For this, we use several types of supervised machine learning algorithms.

Supervised learning is a branch of machine learning that combines algorithms and techniques for building models based on a set of pre-given examples containing input-output pairs.

In order for an algorithm to belong to the type of supervised learning, it must work with examples that contain not only a vector of independent variables (attributes, features), but also a value that comes out after model training (such a value is called a target value). The difference between the target and actual results of the model is reduced to a minimum during the learning process and is called the learning error (residual, residual), which acts as a "teacher". The output error value is then used to calculate model parameter corrections at each training iteration.

**Table 1** – Features

No	Feature name	№	Feature name
1	sha256	26	minor_operating_system_version name
2	appeared	27	major_subsystem_version
3	label	28	minor_subsystem_version
4	file_size	29	sizeof_code
5	vsize	30	sizeof_headers
6	has_debug	31	sizeof_heap_commit
7	exports	32	imports
8	imports	33	exports
9	has_relocations	34	entry
10	has_resources	35	name_of_section
11	has_signature	36	size_of_section
12	has_tls	37	vsize_of_section
13	symbols	38	entropy
14	header	39	props
15	timestamp	40	histogram
16	machine	41	byte_entropy
17	characteristics	42	strings
18	subsystem	43	num_strings
19	dll_characteristics	44	avlength
20	magic	45	printabledist
21	major_image_version	46	printables
22	minor_image_version	47	paths
23	major_linker_version	48	urls
24	minor_linker_version	49	registry
25	major_operating_system_version	50	MZ

Currently, many supervised learning algorithms have been developed, each of which has advantages and disadvantages depending on the setting of different problems. There is no single most efficient algorithm for solving all problems, each type of task has its own efficient algorithm.

- Supervised learning algorithms for classification tasks:
  - decision tree;
  - support vector machines;
  - naive Bayes classifier;
  - linear discriminant analysis;
  - k-nearest neighbor method;
- Supervised learning algorithms for regression tasks:
  - linear regression;
  - logistic regression;
  - neural networks [14].

**Results.** The results of the experimental work, that is, the classification results, can be seen in the table 2.

Let's focus on the meaning of the terms whose values are given in the table.

Before describing the indicators obtained as a result of the machine learning algorithm, let us give information about the classification errors of these indicators, the confusion matrix.

We have two classes and an algorithm that predicts that each object belongs to one of the classes, where the classification error matrix is:

**Table 2** – Confusion matrix

	$y = 1$	$y = 2$
$\hat{y} = 1$	True Positive (TP)	False Positive (FP)
$\hat{y} = 0$	False Negative (FN)	True Negative (TN)

Here  $\hat{y}$  is the algorithm's response on the object,  $y$  is the true class label on that object.

Classification errors are of two types: False Negative (FN) and False Positive (FP).

**Table 3** – Classification report

№	Algorithm	Accuracy		Precision	Recall	F1-score	Support
1	2	3	4	5	6	7	8
1	Logistic Regression	0.83567	0	0.72	0.78	0.83	9778
			1	0.84	0.92	0.81	11968
			avg/total	0.78	0.85	0.82	21746



1	2	3	4	5	6	7	8
2	Decision Tree	0.91258	0	0.90	0.89	0.94	9778
			1	0.91	0.94	0.87	11968
			avg/total	0.91	0.92	0.91	21746
3	Forests of Decision Trees	0.76874	0	0.78	0.76	0.83	9778
			1	0.84	0.67	0.71	11968
			avg/total	0.81	0.72	0.77	21746
4	Support Vector Machine	0.79621	0	0.74	0.78	0.76	9778
			1	0.65	0.73	0.71	11968
			avg/total	0.70	0.76	0.74	21746
5	Naive Bayes Classifier	0.69862	0	0.61	0.59	0.67	9778
			1	0.73	0.54	0.65	11968
			avg/total	0.67	0.57	0.66	21746
6	k-nearest neighbors	0.86668	0	0.90	0.78	0.83	9778
			1	0.84	0.94	0.89	11968
			avg/total	0.87	0.87	0.86	21746

**Accuracy** is our most common evaluation metric and is easy to understand, i.e. the number of samples to be matched divided by the number of all samples.

$$Accuracy = \frac{TP + TN}{TP + TN + FP + FN} \quad (2)$$

In general, the higher the accuracy, the better the classifier. The degree of accuracy is indeed a very good and intuitive measure of the estimate, but sometimes a high degree of accuracy does not reflect the algorithm.

**Precision** is for the results of our predictions and shows how many samples whose predictions are positive are correct. Then there are two possibilities to predict the positive class, one is to predict the positive class as class positive (TP) and the other is to predict the negative class as class positive (FP).

$$Precision = \frac{TP}{TP + FP} \quad (3)$$

**Recall** is for our original sample and indicates how many positive examples in the sample are predicted correctly. There are also two possibilities, one is to predict the original positive class as class positive (TP) and the other is to predict the original positive class as class negative (FN). The recall rate is a measure of coverage.

$$Recall = \frac{TP}{TP + FN} \quad (4)$$

**F1-score.** Indicators Precision and Recall sometimes have contradictions, so they need to be considered comprehensively. The most common method is F-Measure (also known as F-Score). F-Measure is the weighted harmonic mean of precision and recall.

$$F1 = \frac{2 * P * R}{P + R} \quad (5)$$

**Support** is the number of instances of each class[15].

From the experimental results presented in table 3, we will see that the most effective machine learning algorithm for our situation is the decision tree. But the results obtained through this practical work may not be suitable for all cases. As the number, value, and training data of various conditions and parameters change, the results of different algorithms may be different.

### **Conclusion:**

A number of results were achieved during the work:

1. An overview of malicious software. Detailed information about PE files, its structure and nature has been provided.
2. Prepared data for analysis (more than 50,000 files). A method of separating files into clean and malicious files has been developed.
3. The most important features are selected. A complete list of obtained features can be seen in Table 1.
4. The use of modern machine learning algorithms and their comparative analysis were carried out within the framework of this task under the conditions of real resources and time. The most optimal, that is, the algorithm that showed the best result for the given task was selected.

A valuable practical result of the work is the creation of an efficient machine learning engine in terms of speed and quality.

### **REFERENCES**

- 1 Michael Sikorski, Andrew Honig (2018). *Practical Malware Analysis. The Hands-On Guide to Dissecting Malicious Software*. San Francisco, DC: No Starch Press.
- 2 Clarence Chio, David Freeman (2018). *Machine Learning and Security: Protecting Systems with Data and Algorithms*. Sebastopol, DC: O'Reilly.
- 3 Ucci D., Aniello L., Baldoni R. (2017). Survey on the Usage of Machine Learning Techniques for Malware Analysis. *ACM Transactions on the Web*, 1, 3-58.
- 4 B.A.S. Dilhara (2021). Classification of Malware using Machine learning and Deep Learning Techniques. *International Journal of Computer Applications*, (0975 – 8887) 183 – 32.
- 5 Damin Moon, JaeKoo Lee, MyungKeun Yoon (2021). Compact feature hashing for machine learning based malware detection. *Information & Communications Technology Express*, DOI: 10.1016/j.ictex.2021.08.005.
- 6 Microsoft. (2022, June 23). PE Format. Microsoft website: <https://learn.microsoft.com/en-us/windows/win32/debug/pe-format>
- 7 Virus Total malware samples dataset (2022). Virus Total website: <https://www.virustotal.com/gui/home/upload>
- 8 Malware Traffic Analysis (2022). A source for packet capture (pcap) files and malware samples. Malware Traffic Analysis website: <https://www.malware-traffic-analysis.net/>
- 9 VirusShare (2022). VirusShare website: <https://virusshare.com/>
- 10 VX Heaven (2010). VX Heaven Virus Collection. VX Heaven website: <https://web.archive.org/web/20170611163424/http://vxheaven.org/>

11 Kaggle and Microsoft (2018). Microsoft Malware Prediction. Kaggle website: <https://www.kaggle.com/c/microsoft-malware-prediction>

12 Shannon C. E. (1948) A Mathematical Theory of Communication. *Bell System Technical Journal*. 27, 379-423.

13 Hyrum S. Anderson, Phil Roth (2018). *Research Gate*. An Open Dataset for Training Static PE MalwareMachine Learning Models. Research Gate website: [https://www.researchgate.net/publication/324492745\\_EMBER\\_An\\_Open\\_Dataset\\_for\\_Training\\_Static\\_PE\\_Malware\\_Machine\\_Learning\\_Models](https://www.researchgate.net/publication/324492745_EMBER_An_Open_Dataset_for_Training_Static_PE_Malware_Machine_Learning_Models)

14 Henrik Brink, Joseph W. Richards, Mark Fetherolf (2017). *Real-World Machine Learning*. Shelter, Island. DC: Manning

15 Alexey Michurin (2022). Metrics in machine learning: precision, recall and more. Michurin website: <http://www.michurin.net/computer-science/ml-precision-recall.html>

**Г. АЛПЫСБАЙ, А. БЕДЕЛЬБАЕВ, А. УСМАНОВА,  
Ж. ДҮЙСЕНБЕКҚЫЗЫ**

*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан*

## **ЗИЯНДЫ БАҒДАРЛАМАЛЫҚ ЖАБДЫҚТАРДЫ ТАЛДАУДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ АЛГОРИТМДЕРІНЕ САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ**

Заманауи ғылым әлеміндегі киберқауіпсіздік саласының жетістігіне және оның әдістерінің үздіксіз дамуына қарамастан, зиянды бағдарламалар әлі де ақпараттық қауіпсіздікке төнетін ең үлкен қатерлердің бірі болып табылады. Зиянды бағдарлама күн сайын дамып келеді және оның түрлері мен әрекеттері күннен-күнге артып, дамып келеді. Ал мұндай күрделі және алуан түрлі зиянды бағдарламаларды анықтау және олармен күресу үшін заманауи, күрделі технологияларды қолданудың маңыздылығы орасан. Осы орайда ақпараттық қауіпсіздік саласында интеллектуалды жүйелерді пайдаланудың артықшылықтарын атап өтуге болады. Бұл мақалада біз Windows операциялық жүйесіндегі PE (Portable Executable) файлдарын, яғни компьютерде орындалатын процестерді және машиналық оқыту алгоритмдерін пайдаланып зиянды бағдарламаларды талдауды қарастырамыз. Сонымен бірге біз әртүрлі машиналық оқыту алгоритмдерінің жұмысына назар аударамыз және біздің мысалымызда қай әдісті қолдану тиімдірек екенін көрсетеміз.

Бұл мақалада біз келесі тапсырмаларды орындаймыз:

1. Зиянды бағдарламалық қамтамасыз ету туралы ақпарат беру. PE файлдарының анықтамасы, оның құрылымы мен сипаты.

2. Тәжірибелік жұмысқа мәліметтерді дайындау (таза және зиянды кодтары бар файлдарды жинау). Файлдарды таза және зиянды файлдарға бөлу әдістеріне шолу.

3. Алдын ала дайындалған файлдар бойынша оқытуға қажетті белгілерді сұрыптау, яғни жаттығу кезінде ең дәл нәтижеге қол жеткізуге мүмкіндік беретін белгілерді ғана алу.

4. Бірнеше машиналық оқыту алгоритмдерін енгізу және олардың ішінен ең тиімдісін таңдау.

**Түйін сөздер:** ақпараттық қауіпсіздік, зиянды бағдарламалық жабдық, PE файлдары, зиянды бағдарламаларды талдау, машиналық оқыту, белгілер.

**Г. АЛПЫСБАЙ, А. БЕДЕЛЬБАЕВ, А. УСМАНОВА, Ж. ДУЙСЕНБЕККЫЗЫ**

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби,  
г. Алматы, Казахстан*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ АЛГОРИТМОВ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ, ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ДЛЯ АНАЛИЗА ВРЕДОНОСНОГО ПО**

*Несмотря на достижения области кибербезопасности в современном мире науки и постоянное развитие ее методов, вредоносное ПО по-прежнему остается одной из самых больших угроз информационной безопасности. Вредоносное ПО развивается каждый день, а количество его типов и моделей поведения увеличивается день ото дня. И важность использования современных, совершенных технологий в выявлении и борьбе с такими сложными и разнообразными вредоносными программами возрастает. В связи с этим можно отметить преимущества использования интеллектуальных систем в сфере информационной безопасности. В этой статье мы проанализируем PE (Portable Executable) файлы в операционной системе Windows, то есть процессы, запущенные на компьютере, и проанализируем вредоносные программы с помощью алгоритмов машинного обучения. При этом мы сосредоточимся на работе разных алгоритмов машинного обучения и покажем, какой метод наиболее эффективно использовать для нашего примера.*

*В этой статье у нас будут следующие задачи:*

- 1. Предоставление информации о вредоносном ПО. Определение PE-файлов, их структура и природа.*
- 2. Подготовка данных для практической работы (сбор файлов с чистым и вредоносным кодом). Обзор методов разделения файлов на чистые и вредоносные.*
- 3. Сортировка необходимых для обучения признаков по заранее подготовленным файлам, то есть получение только тех признаков, которые позволяют добиться наиболее точного результата при обучении.*
- 4. Реализация нескольких алгоритмов машинного обучения и выбор среди них наиболее эффективного.*

**Ключевые слова:** *информационная безопасность, вредоносное ПО, PE-файлы, анализ вредоносных программ, машинное обучение, признаки.*

**Б. С. АХМЕТОВ<sup>1</sup>, В. А. ЛАХНО<sup>2</sup>, Н. Т. ОШАНОВА<sup>1</sup>, А. А. ЖИЛКИШБАЕВ<sup>3</sup>,  
М. Б. БЕРЕКЕ<sup>1\*</sup>, Н. Б. ИЗБАСОВА<sup>3</sup>**

<sup>1</sup>*Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан*

<sup>2</sup>*Ұлттық биоресурстар және табиғатты пайдалану университеті,  
Киев қ., Украина*

<sup>3</sup>*Ш.Есенов атындағы Каспий технологиялар және инжиниринг университеті,  
Ақтау қ., Қазақстан*  
*valss21@ukr.net, bakhytzhan.akhmetov.54@mail.ru, nurzhamal\_o\_t@mail.ru, askhat.  
zhilkishbayev@yu.edu.kz, mdbereke@gmail.com\*, nurgul.izbassova@gmail.com*

## **ЖЕКЕ УНИВЕРСИТЕТТІК БҰЛТТЫҢ ВИРТУАЛИЗАЦИЯ КЛАСТЕРІНДЕГІ ТҮЙІНДЕРІНІҢ МИНИМАЛДЫ САНЫН МОДЕЛЬДЕУ**

*Бұлтты технологиялар мен есептеулер жетекші университеттердің тәжірибесінің бөлігі болды. Дегенмен, виртуализацияның қажетті кластер түйіндерінің оңтайлы санын бағалау мәселесі әлі де өзекті екенін атап өтеміз. Университеттің жеке бұлттының виртуалды жұмыс үстелі инфрақұрылымын (немесе VDI) жобалау кезінде әзірлеушілер көптеген техникалық қиындықтарға тап болады. Олардың бірі-пайдаланушылардың виртуалды машиналарын (ВМ) орналастыратын виртуализация кластерінің түйіндерінің минималды санын бағалау. Мысалы, бұл ВМ-ді студенттер мен оқытушылар оқу тапсырмаларын орындау үшін пайдаланады. VDI конфигурациясын әзірлеуде туындайтын тағы бір міндет университеттің есептеу желісінде (ЕЖ) ВМ орналастыруды алгоритмдеу міндеті болып табылады. Бұл жағдайда ВМ оңтайлы орналасуы ЕЖ түйіндерінің санын азайтуға мүмкіндік береді. Бұл ЕЖ жүйесіндегі VDI функционалдылығына әсер етпейді. Бұл тәсіл жеке университеттің бұлтты инфрақұрылымдық шешімі құнын төмендетуге көмектеседі. Соңғысы университеттер үшін маңызды. Мақалада виртуализация кластері түйіндерінің қажетті санын бағалау моделі ұсынылған. Ұсынылған модель оңтайлы қаптама және жеке университет бұлттының серверлік платформаларының конфигурациясының генетикалық алгоритм мәселесін қамтитын біріктірілген тәсілге негізделген.*

***Түйін сөздер:** бұлтқа негізделген цифрлық білім беру ортасы, университет, виртуализация, виртуалды машиналар, оңтайлы орналастыру, модель.*

**1. Кіріспе.** Көптеген жылдар бойы жетекші әлемдік университеттердің тәжірибесінде білім беру және ғылыми жұмыстардың тиімділігін арттыру үшін бұлтты қосымшалар мен технологиялары (БұҚТ) қолданылып келеді [1], [2].

БұҚТ -ге сұраныс әсіресе CoVID-19 пандемиясы кезінде өсті. Атап өткендей [1], [2], [3] мамандарды даярлау сапасын жақсартудың, олардың кәсіби құзыреттілік деңгейін арттырудың, инновациялық технологияларды кеңінен қолданудың негізгі шарттарының бірі университеттердің бұлтқа бағдарланған цифрлық білім беру ортасы (БЦБО) болды. БЦБО құралдарын қолдану бұлтқа негізделген ашық ғылым жүйелері арқылы студенттердің жоғары сапалы оқуы мен кәсіби дамуын іс жүзінде жүзеге асыруға ықпал етеді.

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [mdbereke@gmail.com](mailto:mdbereke@gmail.com)

**2. Алдыңғы зерттеулерге шолу.** Жұмыстарда көрсетілгендей [4], [5] оқу процесіне тән тапсырмаларды бұлттық технологияларға аудару кезінде, мысалы, университетаралық жеке бұлтты құру кезінде университеттің АТ инфрақұрылымы орталықтандырылған және виртуалдандырылған. Бұл тәсілмен барлық есептеу ресурстарын (ЕР) бір есептеу кластеріне жинауға болады. Әрі қарай, оны логикалық бөлімдерге бөлуге болады, яғни виртуалды машиналарға (ВМ). Осыдан кейін, қажет болған жағдайда, мұндай ВМ пайдаланушыларға беріледі.

[6-10] авторлар Оқу процесі мен ғылыми зерттеулерді ұйымдастыру үшін БұҚТ қолдану контекстінде университеттердің мүмкіндіктеріне егжей-тегжейлі шолу жазады. Бұл жұмыстың нәтижелері университеттерде бұлтты есептеулерді енгізудің уәдмесі мен кедергілері тұрғысынан БұҚТ енгізу процесін қарастырады.

Жұмыста [11] авторлар серверлерді біріктіру мәселелерін қозғады. Сонымен қатар, нақты шектеулерді ескере отырып, физикалық мақсатты серверлер арасында бастапқы серверлерді оңтайлы бөлуді модельдеуге баса назар аударылады. Авторлар өз зерттеулерінде виртуализация кластерінің қажетті түйіндерінің оңтайлы санын бағалауға баса назар аударды. Бұл ретте базалық критерий ретінде тиімділік критерийі қабылданды.

Жұмыстарда [13], [14] бұлтты деректерді өңдеу орталықтарында виртуалды машиналарды физикалық машиналарға орналастыруды оңтайландыру сияқты ұйымның бұлтты инфрақұрылымын құрудың маңызды аспектісі қарастырылады. Авторлар бұлтты инфрақұрылымның тиімділігін арттыруға ықпал ететін энергия тұтынуды азайту және есептеу ресурстарын оңтайлы пайдалану мәселелерін зерттейді.

[15], [16] жұмыстарында клиенттік жұмыс орындарын құру үшін аппараттық құралдарды таңдау міндеті қарастырылған. Авторлар берілген ВМ мөлшерін орналастыру үшін қол жетімді және қажетті жедел жад көлеміне негізделген серверлік платформаларды таңдау моделін ұсынады. Мәселені шешу үшін генетикалық алгоритм ұсынылады.

Дегенмен, авторлардың көпшілігі тиімділік критерийі ретінде қажетті виртуалдандыру кластерлік түйіндерінің оңтайлы санын бағалау барысында мұндай аспектіні қозғамайтынын ескереміз. Атап айтқанда, университеттің БЦБО архитектурасына инвестициялау стратегиясын таңдаумен бірге. Бұл осы бағытта қосымша зерттеулер жүргізуге қызығушылық тудырды.

**3. Зерттеудің мақсаты мен міндеттері.** Зерттеудің мақсаты университеттердің бұлтқа бағытталған оқу ортасында қолданылатын жеке бұлтты виртуалдандыру кластерінің түйіндерінің қажетті санын бағалау моделін дамыту болып табылады.

Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет:

1) университеттің БЦБО университетіндегі оқу және ғылыми жұмыстың ерекшелігіне сүйене отырып, университет бұлттындағы виртуалды жұмыс орындарының жедел жадының оңтайлы көлемін анықтау;

2) ЖМ пайдалану тиімділігін оңтайлы критерий ретінде қабылдай отырып, университеттің БЦБО виртуалдандыру кластері түйіндерінің қажетті санын бағалау моделін жетілдіру.

**4. Әдістер мен модельдер.** Жұмыста: жеке университеттік бұлттың виртуалды жұмысшыларының инфрақұрылымын қалыптастыру үшін серверлік жабдықты



таңдау мәселесін шешу барысында генетикалық алгоритм, сондай-ақ университеттің БЦБО виртуалдандыру кластерінің қажетті санын бағалау моделін дамытудың аналитикалық әдістері қолданылды.

**4.1. Университет бұлтындағы виртуалды жұмыс орындарының жедел жадының көлемін анықтауға арналған генетикалық алгоритм.** Университеттің БЦБО виртуализация кластерінің түйіндеріне қажеттілікті бағаламас бұрын, университет бұлтындағы виртуалды жұмыс орындарының жедел жады көлеміне қажеттілігін анықтайық. Университеттің БЦБО үшін есептеу серверлерінің белгілі бір санын жоспарлау кезінде VM әдетте шешімнің соңғы құнын ескереді. Бұл жағдайда бұл тапсырманы берілген шектеулермен шығындарды азайту функциясы ретінде көрсетуге болады.

БЦБО серверіндегі VM резерві-статикалық параметр. VM сұрауы-динамикалық түрде өзгертін параметр. Бұл университеттің жеке бұлт серверіндегі VM ресурстарына нақты қажеттілікті анықтайтын сұрау.

Мысалы,  $w$  типті VM қолданылады. VM түрі атты дискінің өлшемімен, жедел жады көлемімен, процессорлар мен процессор ядроларының санымен және т.б. анықталады. VM түрлері  $T_1, \dots, T_w$  ретінде белгіленген.

Әрбір пайдаланушыға қажеттілігіне қарай, яғни сұраныс бойынша  $T_i$  типке жатқызылған ЖМ даналарының  $x_i$  ресурстары бөлінеді.

VM-лар орналастырылған серверлік платформаның (СерП) маңызды сипаттамаларының бірі – жедел жады (бұдан әрі - ЖЖҚ). VM санын көбейтудің қарапайым нұсқасын ЖЖҚ модульдерін серверге немесе БЦБО серверлеріне қосу арқылы жүзеге асыруға болады. Бірақ серверде қол жетімді ЖЖҚ слоттарының санына шектеу бар. Сондықтан VM көмегімен студенттер мен мұғалімдер орындайтын тапсырмалардың мәні мен қажеттіліктері туралы бірден түсінікке ие болған дұрыс.

[15] Жұмысқа сәйкес серверлік инфрақұрылымды оңтайландыру мәселесін шешуге мүмкіндік беретін мақсатты функция келесідей:

$$S = \sum_{l=1}^q \sum_{i=1}^{\square} (co_i + \sum_{j=1}^u n_{ij} \cdot co_{zj}) \cdot cir_{il}, \quad (1)$$

Мұнда  $c_i$  – Серверлік платформа (СерП)  $i$  – құны;  $co_{zj}$  – ЖЖҚ сервері үшін  $j$  – ші қосымша модульдің құны;  $u$  – сервер жедел жадына арналған жад түрлерінің саны (мысалы, жиілік, ұрпақ нөмірі және т. б.);  $h$  – университеттің жеке бұлтты Серппп саны;  $q$  – ЖЖҚ сервер блоктарын толтыру опцияларының саны;  $cir_{il}$  –  $i$ -ші СерП үшін  $j$  – типті ЖЖҚ модульдерінің саны;  $n_{ij}$  – жеке бұлттағы СерП саны.

Бұл ретте

$q = \sum_{i=1}^h q_i = \sum_{i=1}^h \frac{(u+d_i)!}{d_i!u!}$ , мұнда  $d_i$  –  $i$ -ші СерПтің ЖЖҚ жолақтарына арналған слоттардың саны.

Әрі қарай оңтайландыруды (1) өрнекте болатын  $c_{zj}$  және  $cir_{il}$  айнымалылары үшін жасауға болады.

[15], [16] -ге сәйкес нақты серверлік платформа үшін ЖЖҚ көлемі бойынша шектеу:

$$\sum_{j=1}^u sram_j \cdot n_{ij} \leq h_i, \quad i = 1..cir. \quad (2)$$

Қосылатын ЖЖҚ модульдерінің саны бойынша шектеу:

$$\sum_{j=1}^u n_{ij} \leq d_i, \quad i = 1..cir. \quad (3)$$

ВМ қажетті мөлшерінің жұмыс істеуін қамтамасыз ететін СерП үшін ЖЖҚ жеткіліктілігі бойынша шектеу [80]:

$$\sum_{i=1}^h \left( \frac{\sum_{j=1}^u sram_j \cdot n_{ij}}{V_{VM}} \right) \geq N_M, \quad (4)$$

$V_{VM}$  – бір ВМ-ге бөлінетін ЖЖҚ көлемі;  $N_M$  – ВМ қажетті саны.

Ағымдағы тапсырманың бүтін сипатын сипаттайтын шектеу:

$$cir_{il}, n_{ij} \geq 0, \quad cir_{il}, n_{ij} \text{ бүтін.} \quad (5)$$

[79, 80] Жұмыстардан айырмашылығы  $c_i$  – параметрі - платформаның  $i$  – ші СерП құны жеке университет бұлтының (немесе БЦБО) серверлік инфрақұрылымына инвестиция салудың аналогы ретінде қарастырылады.

Мұндай инфрақұрылымға тікелей сервер/серверлер және серверлік платформаларда орналастырылған тиісті ВМ саны кіреді. Ұтымды инвестициялық стратегияны және тиісті инвестициялардың мөлшерін таңдау ойын теориясын қолдану негізінде жүзеге асырылуы мүмкін [17] екенін айта кетейік.

Сонымен, [17]-ге сәйкес, құнын анықтау үшін (БЦБО серверлік платформасына/платформаларына инвестиция көлемі), [15], [16]-нан айырмашылығы, шешім қабылдау процесінде мүдделі тараптардың стратегиялары алдымен ойын теориясы негізінде анықталады. Мұндай тараптар ретінде, мысалы, мыналарды қарастыруға болады: 1) серверлік инфрақұрылым әкімшілері немесе қашықтықтан оқыту жүйесінің (ҚОЖ) әкімшілері; 2) университеттің қаржы әкімшілігі.

Біз генетикалық алгоритмді (ГА) қолдана отырып (1-5) өрнектермен сипатталған оңтайландыру мәселесін шешуді жүзеге асырдық. Пайдаланылған ГА-да популяция-бұл жеке университет бұлтының СерП таңдау кезінде көптеген шешімдер. Виртуалды жұмыс орындарының санын көбейту кезінде жедел жадтың қосымша көлемінің қажеттілігі маңызды болып саналды. Екілік кодтау қолданылатын классикалық ГА-дан айырмашылығы, осы зерттеуде кодтау тізімі қолданылды.

Тізім элементі университеттің БОО серверінің/серверлерінің платформасына қатысты осындай ақпаратты қамтиды [79 б. 27, 80, б. 47]: СерП типі; БЦБО виртуализацияға инвестициялаудың таңдалған стратегиясына және қолда бар шектеулерге сәйкес жедел жадқа арналған модульдер жиынтығы; ЖЖҚ жалпы көрсеткіштері (жиілігі, жад көлемі және т. б.); СерП үшін ЖЖҚ жиынтығының құны.

Хромосомадағы гендер саны ( $ch$ ) масштабталатын СерП үшін ЖЖҚ планкаларының жиынтығы нұсқаларының тізімі элементтерінің санына тең.

Өрнек - фитнес функциясы ретінде пайдаланылады.

Жеке СерП жедел жады жиынтығының мүмкін комбинациясы популяцияны ( $pop$ ) құрайды. Бұл ретте жад көлемі мен ЖЖҚ модульдерінің жиынтық құны бойынша сервердің ең аз қажетті параметрлерінің саны бойынша шектеулер қабылданды.

Бастапқы популяция осылай құрылды. Жеке университет бұлтының сервері/серверлері (немесе СерП) үшін жедел жад жиынтығының тізіміндегі жазба нөмірі



кездейсоқ таңдалды. Мысалы, рулетка әдісін қолдануға болады. Әрі қарай, осы жиынтыққа сәйкес келетін генге "1" қосылады.

Содан кейін хромосома ( $ch$ ) (3) және (4) шектеулерге сәйкес келетінін тексереміз.

Процедура CP қажетті сипаттамалары бойынша қажетті көрсеткіштерге қол жеткізілгенге дейін қайталанады, Бағдарлама арнайы құрған мәліметтер құрылымына хромосомалардың ( $ch$ ) ұрпақтарының нөмірлерін  $NG$ -ге енгіземіз. Популяция мөлшері хромосомалардың санына байланысты. Популяциядағы әрбір хромосома ( $ch$ ) үшін жарамдылығын бағалау орындалады. Бұл процедура фитнес функциясын есептеу арқылы жүзеге асырылады. Хромосомалардың сапасы неғұрлым жоғары болса, фитнес функциясының мәні соғұрлым аз болады. Хромосоманың бөліну нүктесі кездейсоқ таңдалады.

Әр ұрпаққа қатысты таңдауды орындаймыз.

Біз "өміршен" бірліктерді шектеу негізінде таңдаймыз (4). Содан кейін фитнес функциясының мәні бойынша рейтинг жасалады (1).

Ең жақсы бірліктер келесі ұрпақтарға өзгеріссіз беріледі.

Есептеулер ұрпақтардың белгілі бір санына жеткенде аяқталады. Есептеу эксперименттері көрсеткендей, алгоритмнің конвергенциясы кемінде елу ұрпақ үшін қол жеткізіледі.

**4.2. Виртуализация кластері түйіндерінің қажетті санын бағалау моделі.** Мысалы, қашықтықтан оқыту жүйесін ұйымдастыру үшін пайдаланылатын университеттің жеке бұлтын құру үшін қажетті ресурстарды бағалау үшін математикалық модель құрайық. Негіз ретінде [11] жұмыста көрсетілген модель алынды. Алайда біз бұл модельді кластер түйіндерінің оңтайлы саны бойынша есептеу деректерімен толықтырамыз. Оңтайлылық критерийлері ретінде - тиімділік критерийі және [17] жұмыста айтылған университеттік бұлтты дамытуға инвестициялаудың таңдалған стратегиясы қабылданды. Сонымен қатар, университеттің БЦБО жұмысының ерекшелігіне сүйене отырып, VM орналастыру және жою сәтін алдын-ала болжау қиын екенін ескереміз. Шынында да, бүгінгі таңда оқу процесінде оқушылардың оқу тапсырмаларын асинхронды түрде ұйымдастыруы өзекті болып табылады. Олардың әрқайсысы жұмысты орындау үшін бөлінген уақыт аралығында өз бетінше шешім қабылдай алатын кезде, ол VM-ны орналастырып, содан кейін оны жоюға ыңғайлы болған кезде. Олардың әрқайсысы жұмысты орындау үшін бөлінген уақыт аралығында өз бетінше шешім қабылдай алатын кезде және ол VM-ны орналастырып, содан кейін оны жоюға ыңғайлы болған кезде. Сонымен қатар, бұл әрекеттердің барлығы әртүрлі –  $t$  уақытта болады.

Жоғарыда көрсетілгендей, жеке университеттік бұлттың аппараттық-бағдарламалық кешені (АӨК) есептеу серверлерін қамтиды (серверлік платформалар – ЖЖҚ параметрлері га негізінде бұрын есептелген СерП, 4.1-тармақ). Әр СерП параметрмен сипаттауға болады. Бұл параметр сервердің негізгі сипаттамаларын (СерП) қамтиды. Мысалы, мұндай параметрлерге мыналар жатады - жедел жадының көлемі, процессордың тактілік жиілігі, процессор ядроларының саны және т.б. Сонымен қатар,  $j \in \{1..N\}$  серверлерінің әрқайсысы тиісті  $k \in \{1..P_a\}$  ресурсы үшін  $C_{jk}$  сыйымдылығына ие.

Университеттің БЦБО оқу процесінде, ғылыми немесе әкімшілік тапсырмасында қолданылатын әрбір  $i$  виртуалды машинаға (ВМ –  $vm_i$ ) ресурстардың  $r_{ik}$  ең минималды мөлшері қажет. Сонымен қатар, ресурс  $k$  параметрлерден ерекшеленеді. Мысалы,  $k = 1$  бұл процессор параметрі,  $k = 2$  – жедел жад параметрі және т. б. Бұл ресурстар резерві деп аталады. Егер сервер  $k$  параметрлерге сәйкес ресурстардың минималды мөлшерін бөле алмаса, онда ВМ орналастырылмайды.

$t$  уақытында белсенді ВМ  $Ac(t)$  шартты түрде орналастырылған  $VM - Pl(t)$ -ге бөлінуі мүмкін және оларды орналастыру қажет –  $Rd(t)$ . Сондай-ақ,  $Re(t)$  ВМ-өшірлі. Мұны келесідей жазуға болады:

$$Ac(t) = \left\{ \frac{Pl(t)}{Re(t)} \right\} \cup Rd(t). \quad (6)$$

ВМ жеке университет бұлтының орналасуын екі айнымалымен сипаттауға болады. Біріншісі белгілі бір  $T_i$  түріндегі ВМ тағайындаған виртуалды процессорлардың санын сипаттайды. Екінші айнымалы сервер мен ВМ арасындағы байланысты сипаттайды. Содан кейін  $vm_{ij}(t) = 1$  айнымалысы, егер  $t$  ВМ  $i$  уақытында оның  $T_i$  түріне тағайындалған  $j$  серверінде орналасады.

Шартты университеттің БЦБО виртуализация кешенінің жеткілікті көлемі бар деп есептейміз. Сонда теңдік әділетті:

$$\sum_{j=1}^N vm_{ij}(t) = 1, \quad \forall i \in Ac(t). \quad (7)$$

ЖМ ресурстарының әр түріне оларды серверге орналастыру мүмкіндігіне кепілдік берілуі керек. Резервтелген ВМ ресурстарының жиынтық мәні белгілі бір ресурс бойынша сервердің сыйымдылығынан аспауы тиіс. Мысалы, қатты дискілердің сыйымдылығы немесе барлық типтегі ВМ жедел жады  $C_{jk}$  сервердің сыйымдылығынан аспауы керек. Мұны келесідей жазуға болады.

$$\sum_{i \in Ac(t)} vm_{ij}(t) \cdot r_{ik} \leq C_{jk} = 1, \quad \forall j \in 1..N, k = 1..Pa. \quad (8)$$

Мұндай жеке университеттік бұлтты жобалау кезінде мамандар болашақта ВМ жүктемесін болжай алады. Бастапқы деректер ретінде бұлтты пайдаланушылардың санын алуға болады. Студенттердің, оқытушылардың санын және белгілі бір курстың еркін тыңдаушыларының статистикасын біле отырып, мұны істеу қиын емес.

Біздің зерттеуімізде жеке университет бұлттық серверлерінің минималды санының төменгі шегін анықтау үшін [18] ұсыныстарын қолданамыз. Содан кейін виртуализацияны университеттің жеке бұлтындағы есептеу серверлері бірдей сипаттамаларға ие деп есептейміз. Университет кешенінің сыйымдылығын динамикалық бағалау үшін уақыт параметрін қосамыз. Бұл өте табиғи, өйткені мұндай кластағы жабдықтар орталықтандырылған түрде сатып алынады. Яғни

$$C_{jk} = C_k, \quad \forall j \in 1..N, k = 1..Pa. \quad (9)$$

Бір немесе басқа нұсқаны таңдауды анықтайтын ұтымды инвестициялық стратегияны, мысалы, есептеулерді қолдану арқылы жүзеге асыруға болады [17]. Жоғарыда

айтылғандарға сүйене отырып, университеттің БЦБО-да ВМ ресурстарын тұтыну уақыт өте келе өзгеруі мүмкін деп қабылдаймыз. Шынында да, сапалы білім алу үшін барған сайын ресурсты қажет ететін бағдарламалық жасақтаманы мезгіл-мезгіл жаңартып отыру қажет.  $t$  уақытында біз орналастыруға жоспарланған көптеген ВМ-ны ішкі жиындарға бөлеміз, оларды  $a_1(t)$ ,  $a_2(t)$ ,  $a_3(t)$ , деп белгілейміз. Бұл  $a_1(t)$ ,  $a_2(t)$ ,  $a_3(t)$  – сәйкесінше, үлкен, орташа және төмен жүктемесі бар ВМ жиынтықтары. Содан кейін, мысалы, белсенді ВМ үшін келесі теңдеулер жүйесі жарамды болады:

$$\begin{aligned} a_1(t) &= \{i \in Ac(t) | a_i(t) > C_{CPU} - \mu\}; \\ a_2(t) &= \{i \in Ac(t) | C_{CPU} - \mu \geq a_i(t) > 0,5 \cdot C_{CPU}\}; \\ a_3(t) &= \{i \in Ac(t) | 0,5 \cdot C_{CPU} \geq a_i(t) > \mu\}, \end{aligned} \quad (10)$$

$C_{CPU}$  – процессор параметрлері бойынша жеке университет бұлттының сервер ресурстарының жалпы саны,  $\mu$  – процессордың максималды жүктемесін (CPU) және СерП –  $0 \leq \mu \leq 0,5$  жедел жадын сипаттайтын параметр. Соңғысы виртуализация кезінде процессор мен сервердің жедел жадының 50%-дан астамын ВМ-ға бөлу ұсынылмайтындығына байланысты дұрыс.

Жеке университет бұлты үшін серверлердің оңтайлы санының төменгі шегін келесідей беруге болады:

$$N_1(\mu, t) = |a_1(t)| + |a_2(t)| + \max\left(0, \frac{[\sum_{i \in a_3(t)} a_i(t) - (c_k \cdot |a_2(t)| - \sum_{i \in a_2(t)} a_i(t))]}{c_k}\right). \quad (11)$$

Жеке университеттің бұлттық серверлерінің оңтайлы санының орташа төменгі шегі келесідей болады:

$$N(t) = \max\{N_1(\mu, t), N_2(\mu, t), 0 \leq \mu \leq 0,5\}. \quad (12)$$

**5. Виртуалды есептеу эксперименті.** Ұсынылған модельдің сәйкестігін тексеру үшін виртуалды есептеу эксперименті жүргізілді. Эксперимент жеке бұлтты университеттік құрылымдар – Украинаның Ұлттық биоресурстар және табиғат пайдалану университеті (Киев қ., Украина) және "Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті" коммерциялық емес акционерлік қоғамы (Алматы қ., Қазақстан) негізінде жүргізілді.

Модельдеу нәтижелері 1-суретте көрсетілген.

**Нәтижелерді талқылау.** Негіз ретінде біз IBM Softlayer бұлттының құны туралы аналитикалық деректерді алдық. Егер әкімші мен бағдарламалық жасақтама құрамының бұлтқа қызмет көрсету құны шамамен 12600 долларды құраса, онда жалпы жылдық шығындар 16500 доллардан асады. Өз алаңдарында орналастыру үшін тиісті инфрақұрылымға (сервер – 2 бірлік, деректер қоймасы – 2 бірлік, желілік жабдық – жалпы құны шамамен 10000\$), оларға қызмет көрсетуге (әкімшінің, инженерлік құрамның жалақысы – шамамен 13000\$) және коммуналдық шығындарға (электр энергиясы, интернет-арна – шамамен 2000\$) біз 25000 доллар көлемінде соманы аламыз. Ұқсас есептеулерді 3-5 жылға ұзарта отырып, біз "академиялық бұлтты" орналастыру үшін баға мағынасында ең тартымды модельді бағалай аламыз (сурет 1). PaaS моделінде барлық ресурстарды (бағдарламалық қамтамасыз ету, жүйенің құрылымдық



*1-сурет* – Есептеу эксперименттерінің нәтижелері

элементтерін бөлу) жеткізуші белгілейді, яғни біз IT-компания бізге не ұсынатынын таңдаумен шектелеміз. Сондықтан біз бұл модельді әлі қарастырмаймыз.

#### **Қорытынды.**

VDI университеттік немесе университетаралық бұлтты жобалау кезінде көптеген күрделі техникалық мәселелерді шешу қажет екендігі көрсетілген. Осындай міндеттердің біріне пайдаланушылардың виртуалды машиналары (VM) орналастырылатын виртуализация кластерінің түйіндерінің қажетті санын бағалау міндеті жатады. VDI жобалау процесінде туындайтын тағы бір міндет-есептеу желісінде (ЕЖ) VM орналастыруды алгоритмдеу міндеті. Бұл жағдайда VM-ді оңтайлы орналастыру ЕЖ түйіндерінің санын азайтуға мүмкіндік береді.

Модель біріктірілген тәсілге негізделген. Бұл тәсіл университет бұлттындағы виртуалды жұмыс орындарының жедел жадының көлемін анықтау үшін оңтайландыру мәселесін шешу барысында оңтайлы қаптама мәселесін, генетикалық алгоритмді бірлесіп шешуде синергетикалық әсерді қамтамасыз етеді. Сондай-ақ университеттердің БЦБО-қа инвестициялаудың ұтымды стратегиясын таңдау үшін ойын тәсілі қолданылды.

Зерттеу ИРН АР19678846 «Цифрлық трансформация жағдайында жоғары оқу орындарының инфрақұрылымын дамыту негізінде оқу процесін ұйымдастырудың гибриді және қашықтықтан нысандарының тиімділігін арттыру» жобасы бойынша гранттық қаржыландыру шеңберінде жүзеге асырылды.

#### **ӘДЕБИЕТ**

1 Gayratovich, E. N. (2022) The Theory of the Use of Cloud Technologies in the Implementation of Hierarchical Preparation of Engineers. Eurasian Research Bulletin, 7, pp.18-21.

2 Rasuleva, M., & Alieva, N. (2023, April) The Importance of Cloud Technologies in Modern Education. In International Conference on Higher Education Teaching, Vol. 1, No. 1, pp. 4-11.

3 Almaiah, M. A., & Al-Khasawneh, A. (2020) Investigating the main determinants of mobile cloud computing adoption in university campus. *Education and Information Technologies*, 25, pp.3087-3107.

4 Dong, T., Ma, Y., & Liu, L. (2012). The application of cloud computing in universities' education information resources management. In *Information Engineering and Applications: International Conference on Information Engineering and Applications (IEA 2011)*, pp. 938-945. Springer London.

5 Wagh, N., Pawar, V., & Kharat, K. (2020) Educational Cloud Framework –A Literature Review on Finding Better Private Cloud Framework for Educational Hub. *Microservices in Big Data Analytics: Second International, ICETCE 2019, Rajasthan, India, February 1st-2nd 2019, Revised Selected Papers*, pp.13-27.

6 Khayyat, M., Elgendy, I. A. et al. (2020). Advanced deep learning-based computational offloading for multilevel vehicular edge-cloud computing networks. *IEEE Access*, 8, pp.137052-137062.

7 Yadegaridehkordi, E., Shuib, L. et al. (2019) Decision to adopt online collaborative learning tools in higher education: A case of top Malaysian universities. *Education and Information Technologies*, 24, pp.79-102.

8 Zhang, Q., Cheng, L. & Boutaba, R (2010) Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *J Internet Serv Appl* 1, pp.7–18

9 Adamu, H., Mohammed, B. (2017) An approach to failure prediction in a cloud-based environment. In *2017 IEEE 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, pp. 191-197. IEEE.

10 IMessias, V. R., Estrella, J. C., Ehlers, R., Santana, M. J., Santana, R. C., & Reiff-Marganiec, S. (2016). Combining time series prediction models using genetic algorithm to autoscaling web applications hosted in the cloud infrastructure. *Neural Computing and Applications*, 27, pp. 2383-2406.

11 Bichler, M.: A Mathematical Programming Approach for Server Consolidation Problems in Virtualized Data Centers. *IEEE Transactions on Services Computing* 3(4), pp.266-278.

12 Averyanikhin, A.E. et al. (2016) Method of calculation of optimum number of knots of the cluster of virtualizations of the private cloud of virtual desktops by criterion of efficiency. *International Research Journal*, 5(47).

13 Gharehpasha, S., Masdari, M., Jafarian, A. (2021) Virtual machine placement in cloud data centers using a hybrid multi-verse optimization algorithm. *Artificial Intelligence Review*, 54, pp.2221-2257.

14 Gharehpasha, S., Masdari, M., & Jafarian, A. (2021) Power efficient virtual machine placement in cloud data centers with a discrete and chaotic hybrid optimization algorithm. *Cluster Computing*, 24, pp. 1293-1315.

15 Проскурин Д.К., Маковий К.А. (2017) Задача выбора серверных ресурсов для внедрения инфраструктуры виртуальных рабочих столов. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 13(4) стр. 26-32

16 Проскурин Д.К., Маковий К.А. (2021) Модифицированный генетический алгоритм решения задачи выбора серверных ресурсов при формировании инфраструктуры виртуальных рабочих мест. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 17(3), стр. 46-51.

17 Akhmetov, B. (2022) A Model for Managing the Procedure of Continuous Mutual Financial Investment in Cybersecurity for the Case with Fuzzy Information Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 93, pp. 539-553.

18 Martello, S., & Toth, P. (1990). *Knapsack problems: algorithms and computer implementations*. John Wiley & Sons, Inc.

**REFERENCES**

1 Gayratovich, E. N. (2022) The Theory of the Use of Cloud Technologies in the Implementation of Hierarchical Preparation of Engineers. *Eurasian Research Bulletin*, 7, pp.18-21.

2 Rasuleva, M., & Alieva, N. (2023, April) The Importance of Cloud Technologies in Modern Education. In *International Conference on Higher Education Teaching*, Vol. 1, No. 1, pp. 4-11.

3 Almaiah, M. A., & Al-Khasawneh, A. (2020) Investigating the main determinants of mobile cloud computing adoption in university campus. *Education and Information Technologies*, 25, pp.3087-3107.

4 Dong, T., Ma, Y., & Liu, L. (2012). The application of cloud computing in universities' education information resources management. In *Information Engineering and Applications: International Conference on Information Engineering and Applications (IEA 2011)*, pp. 938-945. Springer London.

5 Wagh, N., Pawar, V., & Kharat, K. (2020) Educational Cloud Framework –A Literature Review on Finding Better Private Cloud Framework for Educational Hub. *Microservices in Big Data Analytics: Second International, ICETCE 2019, Rajasthan, India, February 1st-2nd 2019, Revised Selected Papers*, pp.13-27.

6 Khayyat, M., Elgendy, I. A. et al. (2020). Advanced deep learning-based computational offloading for multilevel vehicular edge-cloud computing networks. *IEEE Access*, 8, pp.137052-137062.

7 Yadegaridehkordi, E., Shuib, L. et al. (2019) Decision to adopt online collaborative learning tools in higher education: A case of top Malaysian universities. *Education and Information Technologies*, 24, pp.79-102.

8 Zhang, Q., Cheng, L. & Boutaba, R (2010) Cloud computing: state-of-the-art and research challenges. *J Internet Serv Appl* 1, pp.7–18

9 Adamu, H., Mohammed, B. (2017) An approach to failure prediction in a cloud-based environment. In *2017 IEEE 5th International Conference on Future Internet of Things and Cloud (FiCloud)*, pp. 191-197. IEEE.

10 IMessias, V. R., Estrella, J. C., Ehlers, R., Santana, M. J., Santana, R. C., & Reiff-Marganiec, S. (2016). Combining time series prediction models using genetic algorithm to autoscaling web applications hosted in the cloud infrastructure. *Neural Computing and Applications*, 27, pp. 2383-2406.

11 Bichler, M.: A Mathematical Programming Approach for Server Consolidation Problems in Virtualized Data Centers. *IEEE Transactions on Services Computing* 3(4), pp.266-278.

12 Averyanikhin, A.E. et al. (2016) Method of calculation of optimum number of knots of the cluster of virtualizations of the private cloud of virtual desktops by criterion of efficiency. *International Research Journal*, 5(47).

13 Gharehpasha, S., Masdari, M., Jafarian, A. (2021) Virtual machine placement in cloud data centers using a hybrid multi-verse optimization algorithm. *Artificial Intelligence Review*, 54, pp.2221-2257.

14 Gharehpasha, S., Masdari, M., & Jafarian, A. (2021) Power efficient virtual machine placement in cloud data centers with a discrete and chaotic hybrid optimization algorithm. *Cluster Computing*, 24, pp. 1293-1315.

15 Proskurin, D. K., & Makovij, K. A. (2017) Zadacha vybora servernyh resursov dlya vnedreniya infrastruktury virtual'nyh rabochih stolov. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 13(4), pp.26-32.

16 Proskurin, D. K., & Makovij, K. A. (2021) Modificirovannyj geneticheskij algoritm resheniya zadachi vybora servernyh resursov pri formirovanii infrastruktury virtual'nyh rabochih mest. *Vestnik Voronezhskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta*, 17(3), pp. 46-51.



17 Akhmetov, B. (2022) A Model for Managing the Procedure of Continuous Mutual Financial Investment in Cybersecurity for the Case with Fuzzy Information Lecture Notes on Data Engineering and Communications Technologies, 93, pp. 539-553.

18 Martello, S., & Toth, P. (1990). Knapsack problems: algorithms and computer implementations. John Wiley & Sons, Inc.

**Б. С. АХМЕТОВ<sup>1</sup>, В. А. ЛАХНО<sup>2</sup>, Н. Т. ОШАНОВА<sup>1</sup>, А. А. ЖИЛКИШБАЕВ<sup>3</sup>,  
М. Б. БЕРЕКЕ<sup>1</sup>, Н. Б. ИЗБАСОВА<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Казахский Национальный педагогический университет имени Абая,  
г. Алматы, Казахстан*

<sup>2</sup> *Национальный университет биоресурсов и природопользования, г. Киев, Украина*

<sup>3</sup> *Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова,  
г. Актау, Казахстан*

## **МОДЕЛИРОВАНИЕ МИНИМАЛЬНОГО КОЛИЧЕСТВА УЗЛОВ КЛАСТЕРА ВИРТУАЛИЗАЦИИ ЧАСТНОГО УНИВЕРСИТЕТСКОГО ОБЛАКА**

Облачные технологии и вычисления уже давно вошли в практику ведущих университетов. Однако заметим, что до сих пор остается актуальной проблематика оценки оптимального числа необходимых узлов кластера виртуализации. Проектируя инфраструктуру виртуальных рабочих столов (или VDI) университетского частного облака, разработчики сталкиваются со множеством технических задач. Одна из них – оценивание минимального требуемого числа узлов кластера виртуализации, на которых размещают виртуальные машины (ВМ) пользователей. Эти ВМ, например, используются учащимися и преподавателями для выполнения учебных заданий. Еще одной задачей, которая возникает в разработки конфигурации VDI, является задача по алгоритмизации размещения ВМ в вычислительной сети (ВС) университета. В таком случае оптимальное размещение ВМ, позволяет минимизировать количество узлов ВС. И это не влияет на функциональность VDI в ВС. Такой подход будет способствовать сокращению стоимости решения по использованию инфраструктуры частного университетского облака. А последнее немаловажно для университетов. В статье предложена модель оценки требуемого количества узлов кластера виртуализации. Предлагаемая модель основана на комбинированном подходе, который предполагает совместное решение задачи об оптимальной упаковке и нахождение с помощью генетического алгоритма конфигурации серверных платформ частного университетского облака.

**Ключевые слова:** облачно-ориентированная цифровая образовательная среда; университет; виртуализация, виртуальные машины, оптимальное размещение, модель.

**B. S. AKHMETOV<sup>1</sup>, V. A. LAKHNO<sup>2</sup>, N. T. OSHANOVA<sup>1</sup>, A. A. ZHILKISHBAYEV<sup>3</sup>,  
M. B. BEREKE<sup>1</sup>, N. B. IZBASOVA<sup>3</sup>**

<sup>1</sup> *Abay Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2</sup> *National University of Life and Environmental Sciences of Ukraine, Kyiv, Ukraine*

<sup>3</sup> *Caspian University of Technology and Engineering named after Sh. Yessenov, Aktau,  
Kazakhstan*

## MODELING OF THE MINIMUM NUMBER OF NODES OF A PRIVATE UNIVERSITY CLOUD VIRTUALIZATION CLUSTER

*Cloud technologies and computing have long been part of the practice of leading universities. However, we note that the problem of estimating the optimal number of necessary nodes of a virtualization cluster still remains relevant. When designing the virtual desktop infrastructure (or VDI) of a university private cloud, developers face many technical challenges. One of them is to estimate the minimum required number of virtualization cluster nodes on which users' virtual machines (VMs) are hosted. These VMs, for example, are used by students and teachers to complete training tasks. Another task that arises in the development of the VDI configuration is the task of algorithmizing the placement of the VM in the computer network (CN) of the university. In this case, the optimal placement of the VM allows you to minimize the number of nodes of the aircraft. And this does not affect the functionality of VDI in the sun. This approach will help reduce the cost of a solution for using the infrastructure of a private university cloud. And the latter is important for universities. The article offers a model for estimating the required number of virtualization cluster nodes. The proposed model is based on a combined approach, which involves jointly solving the problem of optimal packaging and finding the configuration of server platforms of a private university cloud using a genetic algorithm.*

**Keywords:** cloud-oriented digital educational environment; university; virtualization, virtual machines, optimal placement, model.

**A. E. ERULANOVA<sup>1</sup>, S. S RUSTAMOV<sup>2</sup>, I. M. UVALIYEVA<sup>3\*</sup>,  
A. K. SHAIKHANOVA<sup>4</sup>, S. A. BELGINOVA<sup>5</sup>**

<sup>1,3</sup>D. Serikbayev East Kazakhstan Technical University, Ust-Kamenogorsk, Kazakhstan

<sup>2</sup>University ADA, Baku, Azerbaijan

<sup>4</sup>L.N.Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan,

<sup>5</sup>University «Turan», Almaty, Kazakhstan

E-mail: [erulanova@bk.ru](mailto:erulanova@bk.ru), [samir.rustamov@gmail.com](mailto:samir.rustamov@gmail.com), [iuvalieva@ektu.kz](mailto:iuvalieva@ektu.kz),  
[shaikhanova.ak@enu.kz](mailto:shaikhanova.ak@enu.kz), [sbelginova@gmail.com](mailto:sbelginova@gmail.com)

## MATHEMATICAL SUPPORT FOR DOSING SYSTEMS OF DRY BULK MATERIALS OF MEDICINES USED IN CLINICAL AND HEMATOLOGICAL SYNDROMES

*The quality of medicines required in modern conditions determines the high requirements for the composition of each component of bulk materials and the strict implementation of the recipe of the final product with the required accuracy. A prerequisite for the products is the operational reliability of the equipment with an increase in the level of automation and ensuring the safety of production and comfortable working conditions of personnel. The preparation of medicines poses the task of organizing the production process with fewer pieces of equipment, a shorter length of transport lines and, accordingly, a reduction in energy consumption. The article presents the relevance of the study and classification of medicines. The principle of operation of a screw weighing dispenser for the pharmaceutical industry as a control object is described. A mathematical model of a screw device for dosing bulk materials of the pharmaceutical industry has been developed.*

**Keywords:** *pharmaceutical industry, medicines, tablets, screw feeder, dosing process, control object, supply bin, flow meter, strain gauge, clinical-hematological syndrome.*

**Introduction.** Pharmacology literally means "the doctrine of medicines" Pharmakon (Greek) – "medicine, poison"; logos (Latin) – "teaching". Currently, pharmacology is a complex science that studies the effect of drugs on healthy and diseased organisms, the science of purposeful search for new medicines and their rational use. From the point of view of legislation now, a drug is a drug listed in the state register of medicines. A medicine is a pharmacological agent in a certain dosage form, approved for use for the purpose of treatment, prevention, and diagnosis of diseases.[1]

The production of approved medicines must comply with the international requirements of the GMP standard, however, the introduction of this requirement on the territory of several CIS countries is carried out in stages, as the equipment of the main operating enterprises is updated. The sale of medicines (unlike biologically active additives) is carried out only by specialized stores (pharmacies, pharmacy kiosks) with the appropriate license.

The circulation of medicines is regulated by law and regulations, including regularly updating the list of vital and essential medicines (VED). Hematological studies are a complex of studies, because of which information is obtained on the quantitative and qualitative composition of the cellular elements of the blood system. Iron deficiency anemia (IDA)

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [iuvalieva@ektu.kz](mailto:iuvalieva@ektu.kz)

is a polyetiological disease, the development of which is associated with iron deficiency in the body due to impaired intake, assimilation or increased losses of this trace element, characterized by microcytosis and hypochromic anemia - a polyetiological disease, the development of which is associated with iron deficiency in the body due to impaired intake, assimilation or increased losses of this trace element, characterized by microcytosis and hypochromic anemia.

With iron deficiency anemia, lesions of the gastrointestinal tract are observed, manifested in the form of chronic gastritis and malabsorption syndromes in the intestine. At the same time, a decrease in secretion and acid formation in chronic gastritis is considered therefore, not a cause, of iron deficiency and is explained by dysregenerative processes in the gastric mucosa.

The goal of treatment for IDA is to administer iron in the amount necessary to normalize hemoglobin levels (women 120-140 g/l, men 130-160 g/l) and replenish tissue iron reserves (serum ferritin > 40-60 µg/l). For treatment and prevention, oral preparations of ferrous iron (code B03AA according to the ATC classification) or oral preparations of ferric iron (code B03AB according to the ATC classification) are used, most often iron sulfate. The quantitative and qualitative composition of iron medicinal preparations varies greatly: high- and low-dose, single-component and combined. According to WHO recommendations, the optimal dose of iron for the treatment of IDA is 120 mg per day, and for the prevention of iron deficiency - 60 mg per day. In children, the dose of iron salt preparations depends on age and is 3 mg/kg per day in children under three years of age, in children over three years of age - 45-60 mg per day, in adolescents - up to 120 mg per day. Approximately 20% of patients develop diarrhea or constipation during treatment, which can be relieved with symptomatic therapy. Signs of gastric irritation, such as nausea and epigastric discomfort, can be minimized by taking iron supplements with meals or reducing their dose. The use of high-dose iron supplements is accompanied by an increase in the frequency of side effects from the gastrointestinal tract.

Currently, many automated complexes for the preparation of multicomponent mixtures have been developed. The requirements for such complexes are determined by such criteria as system autonomy, dosing accuracy, and energy efficiency. Based on these requirements, it is possible to analyze existing developments in this area.

The pharmaceutical industry is one of the largest industries of any state; it is designed to provide the population of countries with drugs for the treatment, prevention, and diagnosis of diseases. The pharmaceutical industry produces more than 620 types of tablets. About 3 billion packages annually. In tablets it is possible to dispense incompatible medicinal substances, masking, localization of action, compact form, ease of administration and transportation are possible. Therefore, it seems relevant to study the technology of preparing tablets [1].

There are several requirements for drugs:

- appearance and ratio of geometric dimensions.
- dosing accuracy.
- mechanical strength.
- disintegration.

As the production of tablets grows, their technology and quality control methods are improved. Much attention is paid to biopharmaceutical research - the influence of

pharmaceutical factors (physicochemical properties of the drug, the degree of its grinding, the nature and number of excipients, granulation method, compression pressure, coatings used, etc.) on the effectiveness of tablets and the development of their rational production. To meet the requirements for tablets, knowledge of the physicochemical and technological properties of powdered medicinal substances and granules is necessary.

As the production of tablets grows, their technology and quality control methods are improved. Much attention is paid to biopharmaceutical research - the influence of pharmaceutical factors (physicochemical properties of the drug, the degree of its grinding, the nature and number of excipients, granulation method, compression pressure, coatings used, etc.) on the effectiveness of tablets and the development of their rational production. To meet the requirements for tablets, knowledge of the physicochemical and technological properties of powdered medicinal substances and granules is necessary. [1]

**Literature review.** The technological scheme for preparing tablets consists of the following steps. Preparation of raw materials, dosing of raw materials. The technological scheme to produce tablets is presented in Figure 1 and consists of the following stages.

- powder preparation stage: grinding, sifting, mixing.
- stage of obtaining the mass for the dosage form: moistening, granulation, drying.
- stage of production of the finished dosage form: pressing, encapsulation, dust removal, coating.
- stage of packaging and packing: packing, packing.

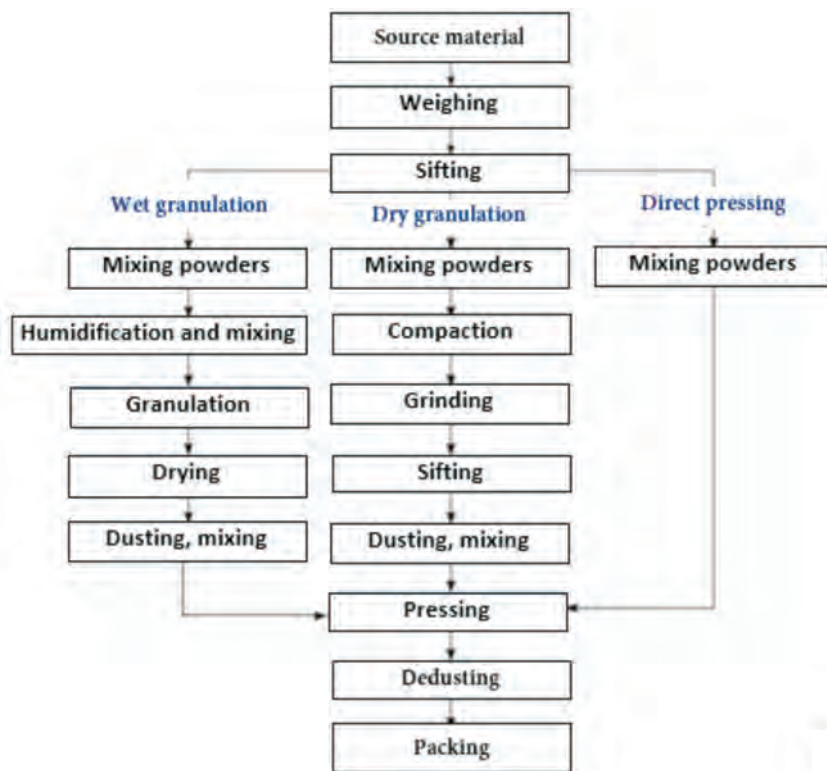


Figure 1 – Technological scheme of the drug production

The modern development of equipment in the pharmaceutical field poses the challenge of organizing the production process with fewer pieces of equipment, a shorter length of transport lines and, accordingly, reducing energy consumption. Also, a prerequisite is the high quality of products, the operational reliability of equipment with an increase in the level of automation and ensuring production safety and comfortable working conditions for personnel.

Let's consider automatic screw dispensers. Screw dispensers are designed for dispensing fine powders, granules, pastes, hard-flowing products, and dispensing a given quantity, mass, or volume of a substance in the form of a portion or a constant flow rate with a specified error.

Качество конечного продукта зависит от точности дозирования компонентов сыпучих материалов. Неточное дозирование может привести к снижению ценности выпускаемого продукта, перерасходу дефицитных и ценных компонентов и увеличению стоимости готовой продукции. Так как сыпучие материалы очень трудно точно дозировать вручную, на производствах применяются различные типы дозаторов [10]. To date, many designs of dosing devices have been developed. This is since the material flow has a wide range of physical, mechanical, and technological characteristics; In addition, equipment often has specific requirements depending on the characteristics of the process. Thus, dosing represents the main technological operation carried out at enterprises for processing pharmaceutical products [11].

Currently, there are no universal and at the same time effective methods for research and development of dosing systems for bulk materials. For each technological process, due to the specifics of the mathematical model and the technical means used, the problem arises of the correct choice of an effective method of research and synthesis, as well as the development of these methods in relation to new problems to be solved. Complex control algorithms make it possible to consider the dynamic properties of an object more accurately and can potentially provide higher control accuracy, material savings and product quality [12-18,20].

Of particular importance is the task of increasing the efficiency of control of an automated electrical complex for dispensing bulk materials, since its solution will significantly increase its productivity and reduce the incorrect dosage of especially critical, small volume, but expensive components [19].

**Materials and research methods.** Screw feeders (auger) dispensers are an excellent solution for transporting, unloading and dosing dry bulk materials of various types, from powdery to finely lumpy.

Screw feeders, dispensers for bulk and powdery materials, consist of the following main components: a transport mechanism with an electric motor, which allows you to change the speed of rotation of the screw, ensuring the movement of material through the working cavity, as well as a limiter, which allows you to change the flow of material. Screw dispensers for bulk and powdery substances are designed for dispensing bulk components such as flour, granulated sugar, powdered sugar, tea, coffee, cocoa powder, milk powder, polymer materials, building materials, granulated products, medicines, metals weighing up to 500 kg depending on the bulk weight of the component with a particle size of up to 5 mm, moisture content of up to 1.5% and bulk density of up to 1800 kg/m<sup>3</sup> [2, 19,20].

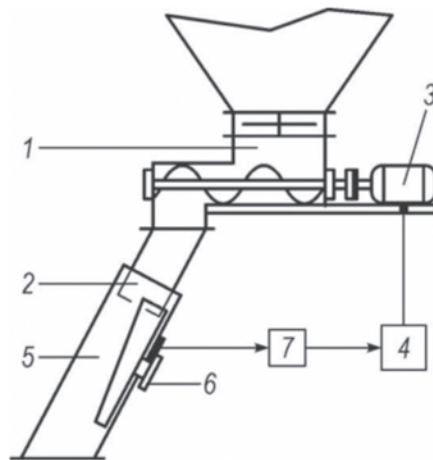


The purpose of the research in this work is to develop a mathematical model of a screw dozer. The object of study is the feed hopper and the screw feeder.

To ensure high reliability, the hardware and software complex must consist of at least three levels. The lower level contains sensors and actuators. The middle level includes the control controller. The upper level is an automated operator workstation based on a personal computer. Raw materials are sequentially supplied from the supply bins through screw feeders into the dosing hopper in accordance with the recipe.

Screw dispensers are stationary horizontal pipes or trays, inside of which a horizontal mixer rotates, which has the shape of an auger (screw) and is the working element. The mixed bulk solid material takes on some liquid properties; even if the mixer does not have helical surfaces, the material is transported along the axis of the horizontal device by leveling the height of the material layer over all zones of the device (like the spreading of liquid). The stirrer shaft is mounted using bearings at the ends of the pipe. If the pipe is long, the mixer is equipped with intermediate bearings inside the pipe to avoid sagging and jamming. Openings for supplying and discharging solid material, as well as for supplying and discharging gases, can be made in any part of the reactor, in the body itself and at the ends.

The productivity of screw feeders is on average 20 - 40 m<sup>3</sup> / h. Due to such qualities as ease of design and maintenance, screw dispensers are used at enterprises in the chemical, construction, and food industries. Augers can be either with a flexible or rigid shaft. The presence of a flexible shaft allows you to transport material along the most optimal trajectory, obtaining high productivity and energy savings. Operating principle of a screw weigher (Fig. 2).



**Figure 2** – Schematic diagram of a screw weigher

Four-screw feeder 1 takes bulk material from the supply hopper and directs it to the flow meter 2. The rotation speed of the screws can be smoothly changed using a controlled drive, which consists of an asynchronous gear motor 3 and a frequency converter 4. The material flow enters the flow meter and slides down the tray 5 attached to the strain gauge 6. The

electrical signal from the strain gauge, proportional to the weight of the material on the tray, is sent to the microcontroller 7, which calculates the flow performance [2].

At the first stage, a block diagram of the linearized control object was drawn up, shown in Figure 3.



**Figure 3** – Block diagram of the linearized contour of the control object

The open loop of the control object, tuned to the modular optimum, must have the following transfer function (1) [2]:

$$W_{ob} = W_{AM}(S) \cdot W_{FC}(S) \cdot W_{ST}(S) \quad (1)$$

where  $W_{AM}(S)$  – transfer function of an asynchronous motor (AM),  $W_{FC}(S)$  – transfer function of frequency converter (FC),  $W_{ST}(S)$  – screw transmission transfer function.

Let us present the transfer function of the AM in the form of an aperiodic link of the 1st order (2), since the AM is an inertial link.

$$W_{AM}(S) = \frac{K_{AM}}{T_{AM}S + 1} \quad (2)$$

where  $K_{AM}$  – asynchronous motor transmission ratio,  $T_{AM}$  – asynchronous motor time constant.

The numerical model has the following form:

$$W_{AM}(S) = \frac{0,9}{0,07s + 1}$$

where  $K_{AM} = 0,9$ ,  $T_{AM} = 0,07$ sec

The transfer function of the FC is represented as an aperiodic link of the 1st order (3) since the FC is an inertial link.

$$W_{FC}(S) = \frac{K_{FC}}{T_{FC}S + 1} \quad (3)$$

where  $K_{FC}$  – is the transmission coefficient of the frequency converter,  $T_{FC}$  – the time constant of the frequency converter,

Numerically, it can be represented as follows:

$$W_{FC}(S) = \frac{1}{0,5S + 1}$$

where  $K_{FC} = 1$ ,  $T_{FC} = 0,5$ . The transfer function of the auger is equal to the transfer coefficient of the auger (4) since the auger is a non-inertia link.

$$W_{ST}(S) = K_{ST} \quad (4)$$

The productivity of the screw feeder is directly proportional to the speed of rotation of the screw, and the coefficient of the screw feeder is the coefficient of proportionality between the speed and the accumulation of mass in the hopper, which can be calculated by the formula (5):

$$K_{ST} = \frac{S}{D} \cdot R^3 \cdot \varphi_n \cdot \gamma_0 \tag{5}$$

where  $S = 32$  mm – screw pitch;  $d = 22$  mm – shaft diameter;  $D = 38$  mm – the outer diameter of the screw;  $R = 1,9$  – screw radius;  $n = 149$  r/min – rotational speed;  $\varphi_n$  – productivity factor;  $\gamma_0$  – bulk volumetric mass of the material [2].

The direction of the screw is horizontal, as shown in Figure 4.

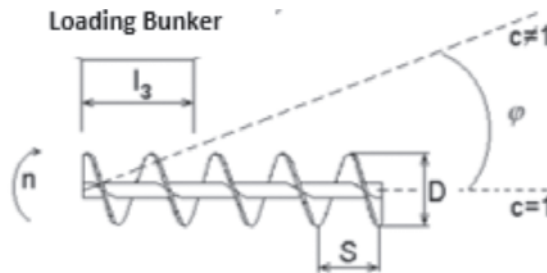


Figure 4 – Screw feeder parameters

The mathematical model has the form (6):

$$K_{ST} = \frac{3.2 \cdot 10^{-2} \cdot (1.9 \cdot 10^{-2})^3 \cdot 0.724 \cdot 550}{3.8 \cdot 10^{-2}} = 0.0023$$

Now we get the transfer function of the object in the form (6):

$$W_{ob} = \frac{K_{AM}}{T_{AMS}+1} \cdot \frac{K_{FC}}{T_{FC}S+1} = \frac{K_{AM} \cdot K_{FC}}{(T_{AM}S+1) \cdot (T_{AM}S+1)} = \frac{K_{AM} \cdot K_{FC}}{(T_{AM}T_{FC}S^2 + T_{AM}S + T_{FC}S + 1)} \tag{6}$$

where  $m_{3g}$  – component weight,  $m$  – actual measured mass of bulk material.

A simulation model of the linearized contour of the control object, developed in the Vissim 5.0 environment, is presented in Figure 5.

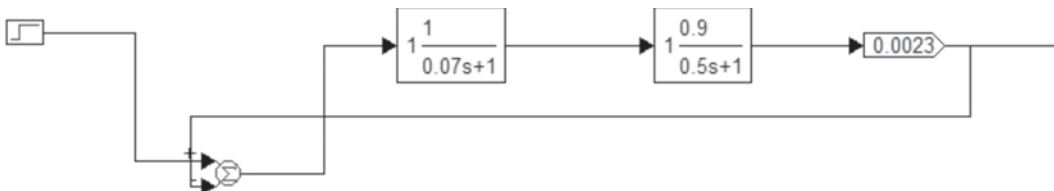
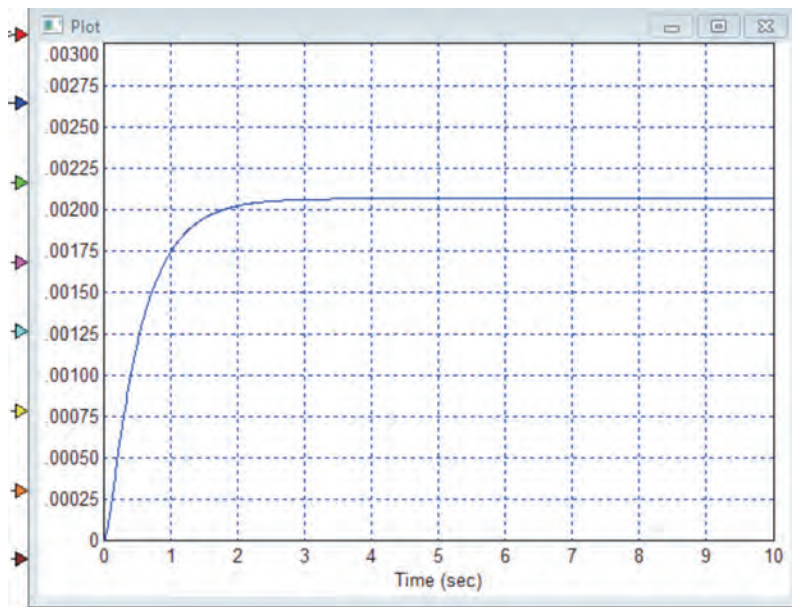


Figure 5 – Simulation model of the control object

By entering the obtained data into the program, we obtained the acceleration curve of the screw dozer as a control object (Figure 6).



**Figure 6** – Transient dosing process of the linearized contour of the control object

**Results and discussions.** An analysis of the quality of medicines for the treatment, prevention and diagnosis of diseases was carried out. An automatic screw device for dosing bulk materials, the principle of its operation is considered, and a mathematical model is developed. A block diagram of the dosing device as a control object has been drawn up. The control object is described by transfer functions in general and numerical form. A simulation model of the dosing device was developed in the Vissim 5.0 program. The acceleration curve of the object controlling the bulk materials dosing process was obtained.

*Conclusion.* As a result of the research, the following scientific and practical results were obtained. The main laws of the dosing process have been identified, which make it possible to draw up a physical and mathematical description of the object. The most progressive solutions aimed at increasing dosing efficiency are considered. The need for automatic flow control is substantiated.

The functional diagram of the automatic control system for the dosing process of bulk materials is formalized, a mathematical model of the screw dozer as a control object is obtained, and a structural diagram of the screw dozer is formed considering the real elements.

*Acknowledgment* The work was carried out with the support of grant funding for scientific and (or) scientific and technical projects for 2023-2025 of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (grant №AP19679525).

## REFERENCES

1 Zhakupova SH. SH. Osnovnyye napravleniya sovershenstvovaniya sistemy gosudarstvennogo strategicheskogo planirovaniya v respublike kazakhstan //Sovremennyye vyzovy i preobrazovaniye ekonomiki. – 2021. – S. 178-185.

2 Yerulanova A. Ye. Monografiya. Avtomatizatsiya protsessa dozirovaniya sypuchikh materialov v konditerskoy promyshlennosti. Ust'-Kamenogorsk: VKTU, 2021, ISBN 978-601-208-757-4, s.98

3 Bublik V. V. Sovershenstvovaniye deyatelnosti predpriyatiy khlebobulochnogo proizvodstva // Razvitiye sovremennogo sotsial'no-gumanitarnogo znaniya: otechestvennyy i zarubezhnyy opyt: sbornik nauchnykh trudov po materialam Mezhdunarodnoy nauchno-prakticheskoy konferentsii 28 fevralya 2018 g.: v 4 ch. / Pod obshch. red. Ye. P. Tkachevoy. – Belgorod : OOO Agentstvo perspektivnykh nauchnykh issledovaniy (APNI), 2018. – Chast' II. – s. 56-65

4 Yang L. et al. The prospects of Jerusalem artichoke in functional food ingredients and bioenergy production //Biotechnology Reports. – 2015. – T. 5. – S. 77-88.

5 ST RK 3.38-2003 «Gosudarstvennaya sistema sertifikatsii Respubliki Kazakhstan. Poryadok sertifikatsii khleba, khlebobulochnykh, makaronnykh izdeley, drozhzhey»

6 Rosell C. M., Garzon R. Microstructure and its relationship with quality of confectionary and bakery products //Food Microstructure and Its Relationship with Quality and Stability. – 2017. – S. 217-238.

7 Turfani V. et al. Technological, nutritional and functional properties of wheat bread enriched with lentil or carob flours //LWT-Food Science and Technology. – 2017. – T. 78. – S. 361-366.

8 Kozlova T. S. i dr. Potrebitel'skiye i fiziko-khimicheskiye pokazateli kachestva khlebobulochnykh izdeliy, obogashchennykh konsentratom polinenasyschennykh zhirnykh kislot v liposomal'noy forme //Vestnik Krasnoyarskogo gosudarstvennogo agrarnogo universiteta. – 2017. – №. 4

9 Kozak A. Mathematical model of elements of automated system of loose materials dosing // Ukrainian journal of mechanical engineering and materials science. – 2016. – №. 2, Num. 1. – S. 65-74.

10 Yudayev I. V., Globin A. N., Plotnikova N. V. Modelirovaniye protsessov v shnekovom dozatore //Izvestiya Nizhnevolzhskogo agrouniversitetskogo kompleksa: nauka i vyssheye professional'noye obrazovaniye. – 2018. – №. 4 (52). – S. 353-360.

11 Karam A. T. KH. i dr. Sovershenstvovaniye nepreryvnogo vesovogo dozirovaniya pri proizvodstve i ispol'zovanii uglerodnykh nanomaterialov //Vestnik Tambovskogo gosudarstvennogo tekhnicheskogo universiteta. – 2018. – T. 24. – №. 2. – S. 344-353.

12 Alsayyad T. KH. Vesovoye nepreryvnoye dozirovaniye sypuchikh materialov: sovremennoye sostoyaniye i perspektivy //Sovremennyye naukoymkiye tekhnologii. – 2017. – №. 7. – S. 12-17. – Rezhim dostupa: <https://top-technologies.ru/pdf/2017/7/36721.pdf> (data obrashcheniya: 15.09.2022).

13 Markov M. O., Lenivtsev A. G., Shlomov S. V. Analiz sushchestvuyushchikh dozatorov sypuchikh materialov, primenyayemykh pri proizvodstve betonnoy smesi //Traditsii i innovatsii v stroitel'stve i arkhitekture. Stroitel'stvo i stroitel'nyye tekhnologii. – 2021. – S. 1006-1010.

14 Bekaert B. et al. In-depth analysis of the long-term processability of materials during continuous feeding //International Journal of Pharmaceutics. – 2022. – T. 614. – S. 121454. 13. Solonshickov P. N. et al. Assessment of energy efficiency of units for preparation of liquid feed mixtures of continuous and batch action //IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. – IOP Publishing, 2022. – T. 981. – №. 4. – S. 042053.

15 Solov'yeva V. A. i dr. Sovremennaya tekhnologiya prigotovleniya i primeneniya burovykh rastvorov na osnove sukhikh polimernykh smesey //Bulatovskiy chteniya. – 2022. – T. 1. – S. 463-466.

16 Seidova I. Obosnovaniye perspektivnoy konstruktivno-tekhnologicheskoy skhemy mnogokomponentnogo dozatora-smesitelya //Byulleten' nauki i praktiki. – 2021. – T. 7. – №. 9. – S. 159-165.

17 Globin A. N., Kurilenko A. V. Analiz raboty vintovykh dozatorov v liniyakh prigotovleniya kormov //Sel'skiy mekhanizator. – 2017. – №. 9. – S. 24-25.

18 Yerulanova A.Ye. Muslimova Development of the conceptual model for the virtualization of the technological process for dispensing bulk materials. «Procedia engineering» Vol.206(2017) s.752-759. 18. Yerulanova A. Ye. Muslimova A. Development of the conceptual model for the virtualization of the technological process for dispensing bulk materials. International Conference on Industrial Engineering, ICIE 2017. «Procedia engineering» Vol.206(2017) s. 752-759.

19 Yerulanova A.Ye. Monografiya. Avtomatizatsiya sistemy dozirovaniya sypuchikh materialov. Ust'-Kamenogorsk: VKGTU, 2018, ISBN 978-601-208-489-4, 129 s.

**А. Е. ЕРУЛАНОВА<sup>1</sup>, С. С. РУСТАМОВ<sup>2</sup>, И. М. УВАЛИЕВА<sup>3</sup>,  
А. Қ. ШАЙХАНОВА<sup>4</sup>, С. А. БЕЛЬГИНОВА<sup>5</sup>**

<sup>1,3</sup>Д. Серікбаев атындағы Шығыс Қазақстан техникалық университеті,  
Өскемен қ., Қазақстан

<sup>2</sup>ADA Университеті, Баку қ., Әзірбайжан

<sup>4</sup>Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университетінің профессоры, Астана қ.,  
Қазақстан

<sup>5</sup> «Тұран» университеті, Алматы, Қазақстан

### **КЛИНИКАЛЫҚ-ГЕМАТОЛОГИЯЛЫҚ СИНДРОМДАРДА ҚОЛДАНЫЛАТЫН ДӘРІЛІК ЗАТТАРДЫҢ ҚҰРҒАҚ СУСЫМАЛЫ МАТЕРИАЛДАРЫН МӨЛШЕРЛЕУ ЖҮЙЕСІНІҢ МАТЕМАТИКАЛЫҚ ҚАМТАМАСЫЗ ЕТУ**

Қазіргі жағдайда қажетті дәрілік заттардың сапасы сусымалы материалдардың әр компонентінің құрамына және түпкілікті өнім рецептін қажетті дәлдікпен қатаң орындауға қойылатын жоғары талаптармен анықталады. Шығарылатын өнімнің сапасының міндетті шарты ретінде автоматтандыру деңгейін арттыру, өндіріс қауіпсіздігі мен персоналдың қолайлы еңбек жағдайларын қамтамасыз ету арқылы, жабдықтың пайдалану сенімділігін қамтамасыз етуді қарастырамыз. Дәрі-дәрмектерді дайындаудың өндірістік процесінде аз жабдықтарды қолдану және тасымалдау желілерін қысқарту арқылы энергияны тұтынуды азайту міндетін қояды. Мақалада дәрілік заттарды зерттеудің өзектілігі мен жіктелуі келтірілген. Фармацевтикалық өнеркәсіпке арналған шнекті салмақ диспенсерінің басқару объектісі ретінде жұмыс істеу принципі сипатталған. Фармацевтика өнеркәсібінің сусымалы материалдарын мөлшерлеу үшін бұрандалы құрылғының математикалық моделі жасалған.

**Түйін сөздер:** фармацевтика өнеркәсібі, дәрі-дәрмектер, таблеткалар, бұрандалы қоректендіргіш, мөлшерлеу процесі, басқару объектісі, шығын бункері, шығын өлшегіш, жүктеме ұяшығы, клиникалық-гематологиялық синдром.

**А. Е. ЕРУЛАНОВА<sup>1</sup>, С. С. РУСТАМОВ<sup>2</sup>, И. М. УВАЛИЕВА<sup>3</sup>,  
А. К. ШАЙХАНОВА<sup>4</sup>, С. А. БЕЛЬГИНОВА<sup>5</sup>**

<sup>1,3</sup>Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева,  
г. Усть-Каменогорск, Казахстан

<sup>2</sup>Университет ADA, г. Баку, Азербайджан



<sup>4</sup>Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева,  
г. Астана, Казахстан

<sup>5</sup>Университет «Туран», г. Алматы, Казахстан

## **МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ СИСТЕМЫ ДОЗИРОВАНИЯ СУХИХ СЫПУЧИХ МАТЕРИАЛОВ ЛЕКАРСТВЕННЫХ СРЕДСТВ, ПРИМЕНЯЕМЫХ ПРИ КЛИНИКО-ГЕМАТОЛОГИЧЕСКИХ СИНДРОМАХ**

*Необходимое в современных условиях качество лекарственных средств определяет высокие требования к составу каждого компонента сыпучих материалов и неукоснительному выполнению рецепта конечного продукта с требуемой точностью. Обязательным условием качества выпускаемой продукции является эксплуатационная надежность оборудования с повышением уровня автоматизации и обеспечением безопасности производства и комфортных условий труда персонала. Приготовление лекарственных средств ставит задачу организовать процесс производства с меньшим количеством единиц оборудования, меньшей протяженностью транспортных линий и, соответственно, снижением энергопотребления. В статье приведена актуальность изучения и классификация лекарственных средств. Описан принцип действия шнекового весового дозатора для фармацевтической промышленности как объекта управления. Разработана математическая модель шнекового устройства для дозирования сыпучих материалов фармацевтической промышленности.*

**Ключевые слова:** фармацевтическая промышленность, лекарственные средства, таблетки, шнековый питатель, процесс дозирования, объект управления, расходный бункер, расходомер, тензодатчик, клиничко-гематологический синдром.

**Ж. ЖАКСЫЛЫК<sup>1</sup>, Л. М. МУСАБЕКОВА<sup>2\*</sup>, К. Е. АРЫСТАНБАЕВ<sup>2</sup>,  
М. А. АМАНДИКОВ<sup>3</sup>, З. С. КОБЕЕВА<sup>4</sup>**

*Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова<sup>1</sup>, г.Шымкент, Казахстан  
Южно-Казахстанская медицинская академия<sup>2</sup>, г. Шымкент, Казахстан  
Университет Дружбы народов им. ак. А. Куатбекова<sup>3</sup>, г.Шымкент, Казахстан  
Шымкентский Университет<sup>4</sup>, г.Шымкент, Казахстан*

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ СВОРМИНГА С АГРЕГАЦИЕЙ ЧАСТИЦ В ДИСПЕРСНЫХ СИСТЕМАХ**

*В предыдущих работах проведен систематический анализ процессов сворминга, сопровождающихся агрегацией частиц с образованием кластеров высокого порядка в дисперсных потоках. В результате анализа было предложено рассматривать три основных механизма сворминга. Ранее подробно рассматривался только инерционный механизм. В представленной работе этот подход впервые адаптирован для моделирования сворминга по механизму притяжения в дисперсной системе с учетом процесса агрегации. Новизна исследования, своеобразие и оригинальность данной работы заключаются в том, что феномен сворминга, сопровождающегося агрегацией, возникающей под влиянием центров притяжения, моделируется с использованием специальной вероятностной схемы расчета, что позволяет предложить универсальный подход к моделированию привлекательного сворминга при различной физической природе взаимодействия. В статье представлены алгоритм, результаты численных экспериментов и дана их краткая интерпретация.*

**Ключевые слова:** агрегация, аттракционный сворминг, кластеры, моделирование, дисперсные системы, стохастическая решетка.

**1. Введение.** Характер привлекательного сворминга может быть самым разнообразным [1]. Это связано со сложностью самой концепции сворминга [2]. По сути, сворминг возникает как проявление явлений самоорганизации в сложных неравновесных системах [3,4]. В реальных физических системах привлекательный сворминг может возникать за счет притяжения частиц в дисперсной системе к определенным центрам [5] или локализованным в объеме областям притяжения [6]. Привлекательный сворминг также может быть вызван градиентом концентрации какого-либо вещества в области движения системы частиц [7]. В биологических системах [8] привлекательный сворминг может быть вызван движением в направлении скопления частиц или микроорганизмов [9].

В последнее время концепция сворминга также используется для описания явлений формирования сообществ в социальных науках и экономике [10]. В этом контексте концепция привлекательного сворминга представляется наиболее подходящей для целей формального математического описания явления [11].

**2. Компьютерное моделирование.** Алгоритм, используемый в этой работе для численного исследования привлекательного сворминга, является модификацией алгоритма, ранее предложенного в работе [12], и который раньше использовался для описания сворминга, вызванного неравномерным полем скоростей сплошной среды в аппарате. Процесс движения и агрегации частиц описывается с помощью методов случайного блуждания на стохастической решетке [13].

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [mleyla@bk.ru](mailto:mleyla@bk.ru)

**2.1. Описание концепции моделирования и алгоритма.** Принципиальной особенностью модифицированного алгоритма является то, что влияние аттрактора на дрейф частиц описывается преобладанием вероятности перехода из данной ячейки в соседнюю с ней ячейку решетки, расположенную ближе к аттрактору. Идея алгоритма иллюстрируется на рисунке 1.



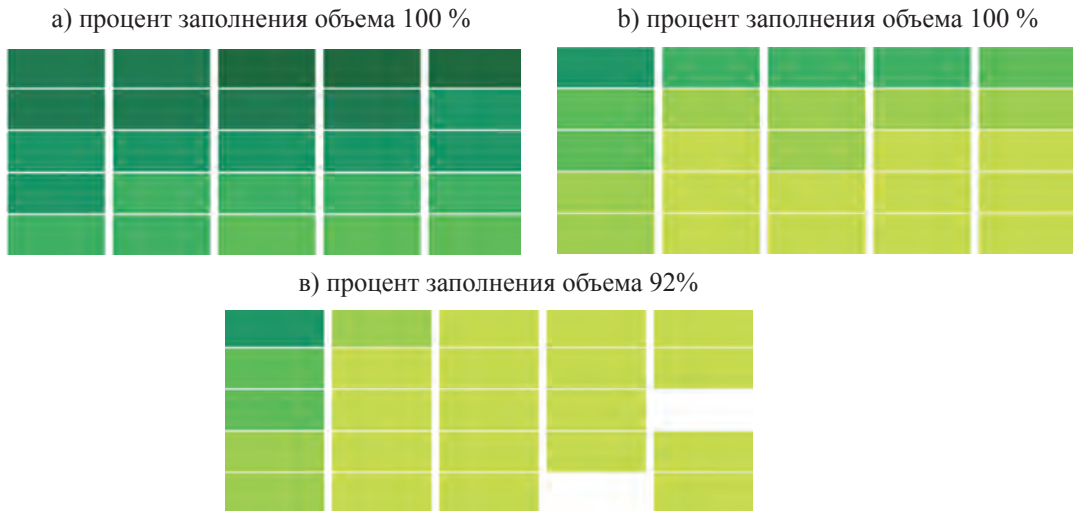
**Рисунок 1** – Иллюстрация к описанию алгоритма случайного блуждания при наличии аттрактора на верхней стенке.

Для реализации простейшей модели ускорения частицы в направлении аттрактора по мере приближения к нему была предложена следующая схема выбора вероятностей дрейфа. Выбор идентификатора для расчета сдвига при ускорении, увеличивающемся при приближении к аттрактору, осуществляется путем случайного выбора из последовательности идентификаторов направления дрейфа (1 – вверх, 2 – вниз, 3 – вправо, 4 – влево, 5 – оставаться на месте). Эта последовательность формируется следующим образом: для любого элемента, расположенного в строке  $m$ , здесь  $m$  рассматривается сверху вниз – от аттрактора обычно считается номер строки матрицы. Поэтому для 1 берем  $(M - m + p_0)$  раз; для 2, 3, 4 и 5 –  $p_0$  раз для каждой цифры. Например, если  $M = 20$ ,  $m = 8$ ,  $p_0 = 2$ , то последовательность для выбора имеет вид: 111111111111122334455. Параметр  $p_0$  играет роль управляющего параметра. К выбранному случайному дрейфу добавляется, как и прежде, сдвиг вправо на  $w$  клетки ( $w$  – скорость потока). При обработке экспериментальных данных по случайному дрейфу по-прежнему используется схема укрупнения сетки [14]. Для процесса агрегации частиц в настоящей работе был принят механизм диффузионно-ограниченной агрегации (ДОА) [12].

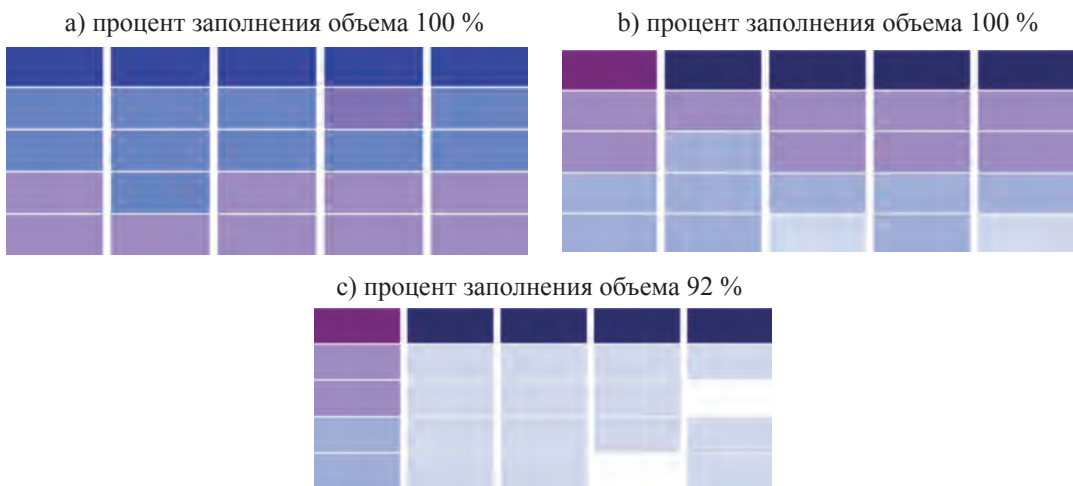
**2.2. Результаты моделирования.** При моделировании использовалась 2D схема. Расчеты были сделаны для  $p_0 = 1, 2, 3$  и  $w = 0, 2, 4$ . Номинальная ширина реактора (количество строк в расчетной матрице) принята равной  $M = 20$ . Номинальная длина реактора (количество столбцов в расчетной матрице) принята равной  $L = 200$ . Приведены некоторые иллюстративные результаты моделирования на рисунках 2–7. Рисунки 2, 3, 4 и 5 соответствуют ситуации, когда в начальный момент реактор полностью заполнен, и каждая ячейка содержит ровно одну первичную частицу.

На рисунках 2-7 показана эволюция распределения кластеров по объему аппарата через различное количество расчетных временных интервалов  $dt$ . Видно, что наличие аттрактора приводит к быстрому перераспределению, в результате которого основное количество кластеров концентрируется в окрестности аттрактора. В то же время, результаты расчетов наглядно демонстрируют влияние аттрактора, распределенного

по верхней стенке, на формирование сворминга и ускорение агрегации частиц с образованием кластеров высокого порядка.



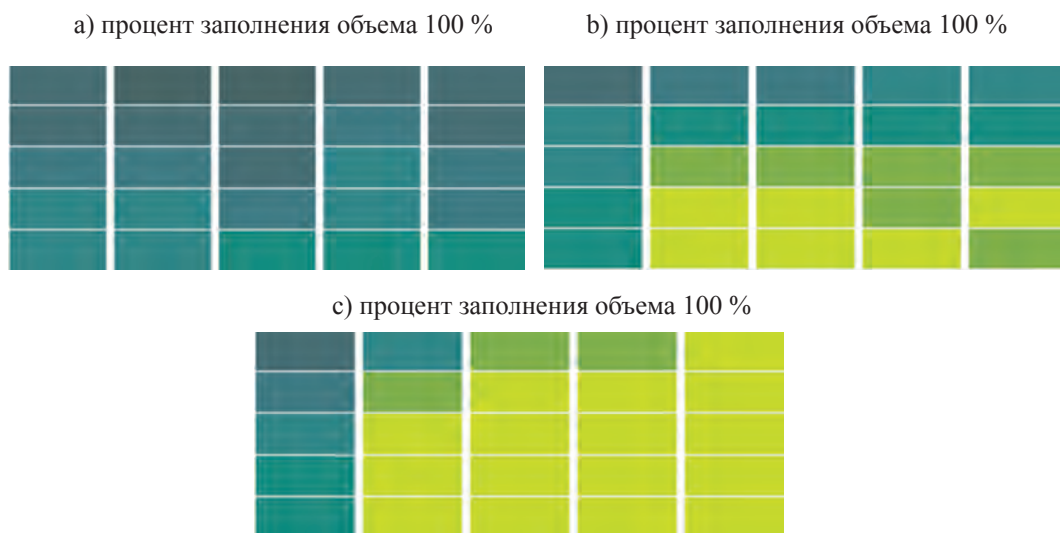
**Рисунок 2** – Количество кластеров разного порядка в блоках. Размер матрицы 200 x 20, скорость потока  $w = 2$ , параметр  $p_0 = 1$ , начальное количество кластеров в каждой ячейке равно одному. Шаг по времени: а)  $dt = 3$ , б)  $dt = 15$ , в)  $dt = 100$ . Количество кластеров в блоке:



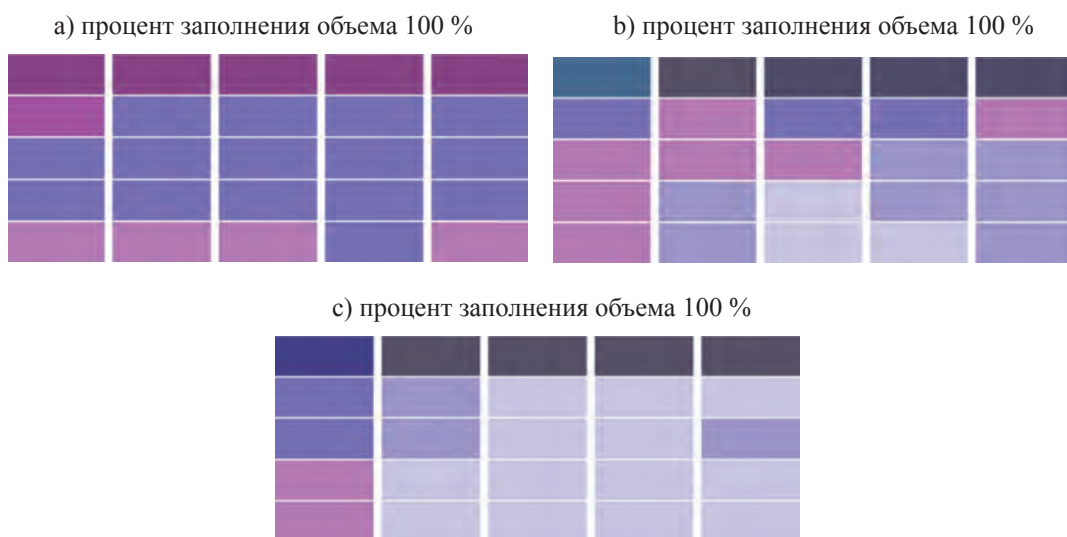
**Рисунок 3** – Сумма порядков кластеров в блоках. Размер матрицы 200 x 20, условный расход  $w = 2$ , параметр  $p_0 = 1$ , начальное количество кластеров в каждой ячейке равно одному. Шаг по времени: а)  $dt = 5$ , б)  $dt = 15$ , в)  $dt = 100$ . Сумма порядков кластеров в блок:



При меньших скоростях потока в реакторе образование сворминга под действием аттрактора происходит быстрее на начальном участке реактора. В изначально пустом реакторе влияние аттрактора проявляется в более медленном заполнении реактора. Сворминг под действием аттрактора приводит к заметному ускорению диффузионно-ограниченной агрегации в реакторе. Анализ результатов расчетов позволяет выявить некоторые общие закономерности.

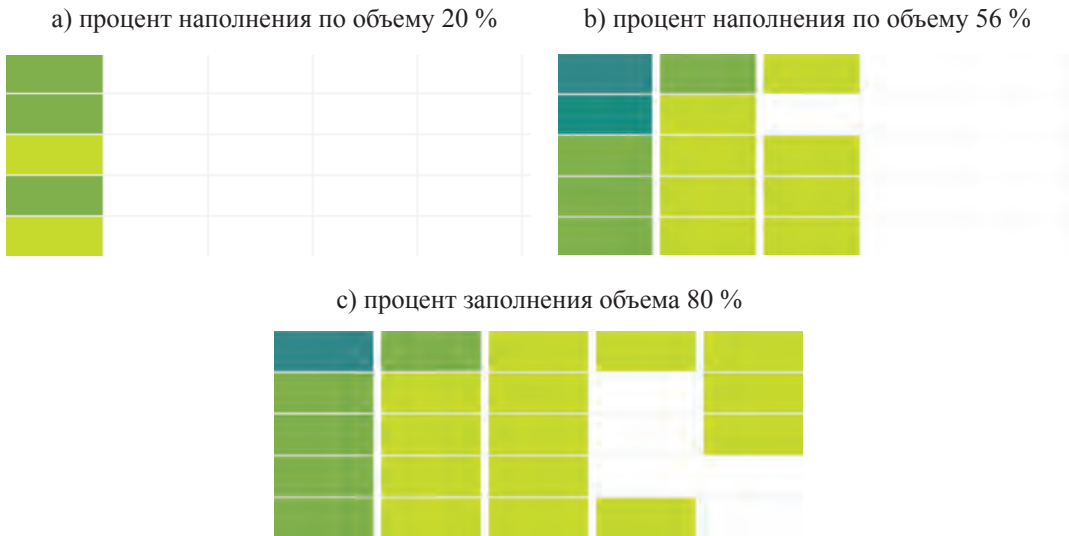


**Рисунок 4** – Количество кластеров разного порядка в блоках. Размер матрицы  $200 \times 20$ , скорость потока  $w = 4$ , параметр  $p_0 = 1$ , начальное количество кластеров в каждой ячейке равно одному. Шаг по времени: а)  $dt = 3$ , б)  $dt = 8$ , в)  $dt = 50$

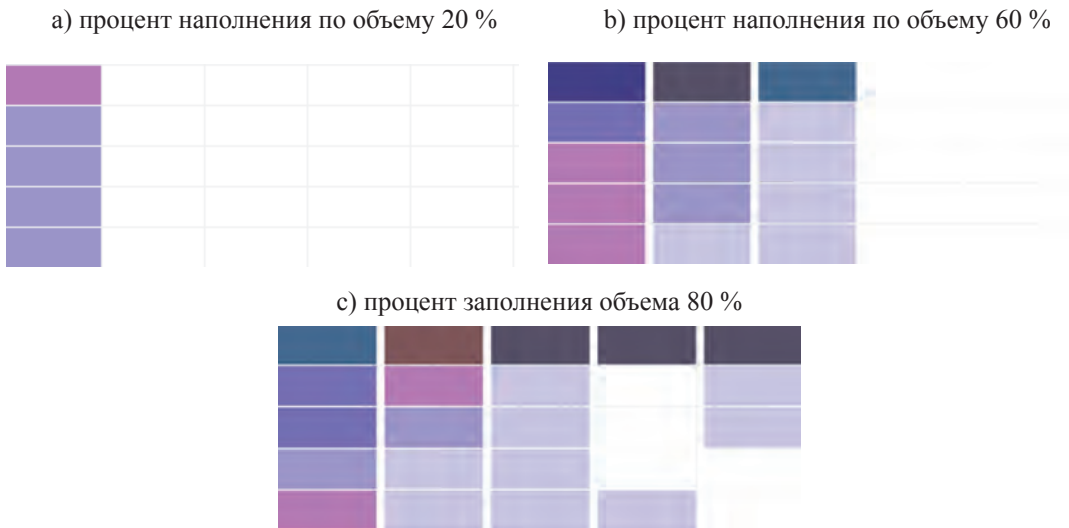


**Рисунок 5** – Сумма порядков кластеров в блоках. Размер матрицы  $200 \times 20$ , скорость потока  $w = 4$ ,  $p_0 = 1$ , начальное количество кластеров в каждой ячейке равно одному. Шаг по времени: а)  $dt = 3$ , б)  $dt = 8$ , в)  $dt = 50$

Рисунки 6 и 7 соответствуют ситуации, когда в начальный момент реактор пуст, т.е. в ячейках нет первичных частиц.



**Рисунок 6** – Количество кластеров разного порядка в блоках. Размер матрицы  $200 \times 20$ , скорость потока  $w = 2$ ,  $p_0 = 3$ , начальное количество кластеров в каждой ячейке равно нулю. Шаг по времени: а)  $dt = 5$ , б)  $dt = 50$ , в)  $dt = 100$



**Рисунок 7** – Сумма порядков кластеров в блоках. Размер матрицы  $200 \times 20$ , скорость потока  $w = 2$ ,  $p_0 = 3$ , начальное количество кластеров в каждой ячейке равно нулю. Шаг по времени: а)  $dt = 5$ , б)  $dt = 50$ , в)  $dt = 100$

1. В случае, когда начальное количество кластеров в каждой ячейке равно единице. Общее количество кластеров в расчетной области сначала увеличивается за счет



поступления в аппарат новых частиц, а затем начинает уменьшаться за счет процесса агрегации. После достаточно большого количества шагов расчета ( $dt = 100$ ) устанавливается динамическое равновесие, т. е. количество кластеров становится примерно стабильным. При этом часть объема аппарата остается слабо заполненной. Данные о процентах заполнения объема аппарата при различных расходах приведены на рисунках.

2. В целом такая же картина наблюдается и для случая, когда начальное количество кластеров в каждой ячейке равно нулю. Только в этом случае начальный период, когда объем аппарата заполняется, более продолжительный.

Результаты расчетов наглядно показывают, что наличие аттрактора быстро приводит к локализации процесса в малой области рабочего объема. При этом значительная часть рабочего объема реактора остается незаполненной. Это явление можно охарактеризовать как уменьшение полезного объема аппарата. По-видимому, здесь необходимы более детальные исследования, чтобы дать количественные оценки этого явления. Поскольку алгоритм основан на стохастическом процессе, повторение расчетов с одним и тем же набором параметров приводит к некоторым колебаниям результатов, которые не меняют качество расчета.

**Выводы.** Основной вклад данной работы заключается в том, что предложен универсальный подход к моделированию привлекательного сворминга, сопровождающегося агрегацией частиц в дисперсной системе, на основе аппарата статистики случайных блужданий на математических решетках. Также разработан алгоритм численного эксперимента и соответствующий код программы. Результаты расчетов наглядно показывают, что наличие аттрактора быстро приводит к локализации процесса в малой области рабочего объема. При этом значительная часть рабочего объема реактора остается незаполненной (в некоторых расчетах от 4 до 50 %). Это явление можно охарактеризовать как уменьшение полезного объема аппарата. По-видимому, здесь необходимы более детальные исследования, чтобы дать количественные оценки этого явления. Хотя работа теоретическая, проведенные численные эксперименты показали хорошую интерпретируемость результатов с точки зрения физики процесса. Разработанный подход после доработки и необходимой адаптации может быть полезен при проектировании аппаратов и решении различных инженерных задач.

## ЛИТЕРАТУРА

1 Shinpei Tanaka, Satoshi Nakata, and Takeshi Kano. Dynamic Ordering in a Swarm of Floating Droplets Driven by Solutal Marangoni Effect// Journal of Physical Society. Japan -2017.-V86.-P.101004-1-101004-8.

2 Be'er A., Ariel G. A Statistical Physics View of Swarming Bacteria// Movement Ecology. -2019.-7(1).- P.1-17.

3 Bouffanais R., Design and Control of Swarm Dynamics// Springer-Verlag. Singapore. -2016.

4 Zhuoyi Deng, Fangzhi Mou, Shaowen Tang, Leilei Xu, Ming Luo, Jianguo Guan. Swarming and collective migration of micromotors under near infrared light//Applied Materials Today.- V.13 -2018. -P.45–53.

5 Carrillo J.A., Fornasier M., Toscani G., Vecil F. Particle. Kinetic and Hydrodynamic Models of Swarming. In: Mathematical Modeling of Collective Behavior in Socio-Economic and Life Sciences.- 2010.- P.297-336.

6 Dong Y., Wang L., Yuan K., Ji F., Gao J., Zhang Z., Du X., Tian Y., Wang Q., Zhang L. Magnetic Microswarm Composed of Porous Nanocatalysts for Targeted Elimination of Biofilm Occlusion// *American Chemical Society Nano*, 2021.-15(3).- P.5056-5057.

7 Hao Zhou, Shan Jing, Xiong Yu, Han Zhou, Wenjie Lan b, Shaowei Li. Study of droplet breakage in a pulsed disc and doughnut column-Part I: Experiments and correlations//*Chemical Engineering Science*. P. 172-183.

8 Jose R., Singh V., Swarming in Bacteria, *J. Indian Inst. Sci.//A Multidisciplinary Reviews Journal*.-2020.- 100(3), P.515-524.

9 Monaco J.D., Hwang G.M., Schultz K.M., Zhang K. Cognitive Swarming in Complex Environments with Attractor Dynamics and Oscillatory Computing// *Biological Cybernetics*.- 2020.- 114(2), P.269-284.

10 Brener A.M. Adaptation of Random Walk Methods to the Modelling of Liquid Distribution in Packed Columns// In: *Advances in Fluid Mechanics IV*, WIT Press.- 2002.- P.291-300.

11 Brener A.M. Nonlocal Model of Aggregation in Dispersed Systems// *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2002.- 45(3), P.349-353.

12 Brener A., Musabekova L.M., Jamankarayeva M.A. Stochastic Lattice Model of Aggregation in Heterogeneous Polydisperse Media// *Chemical Engineering Transactions*.- 2017.- V.60.- P.79-84.

13 Brener A.M., Musabekova L.M., Dausheyeva N.B. On Modelling the Swarming in Dispersed Systems// *Chemical Engineering Transactions*.- 2021.-84.- P.217-222.

## REFERENCES

1 Shinpei Tanaka, Satoshi Nakata, and Takeshi Kano. Dynamic Ordering in a Swarm of Floating Droplets Driven by Solutal Marangoni Effect// *Journal of Physical Society. Japan* -2017.-V86.- P.101004-1-101004-8.

2 Be'er A., Ariel G. A Statistical Physics View of Swarming Bacteria// *Movement Ecology*. -2019.-7(1).- P.1-17.

3 Bouffanais R., *Design and Control of Swarm Dynamics*// Springer-Verlag. Singapore. -2016.

4 Zhuoyi Deng, Fangzhi Mou, Shaowen Tang, Leilei Xu, Ming Luo, Jianguo Guan. Swarming and collective migration of micromotors under near infrared light//*Applied Materials Today*.- V.13 -2018. -P.45–53.

5 Carrillo J.A., Fornasier M., Toscani G., Vecil F. Particle. Kinetic and Hydrodynamic Models of Swarming. In: *Mathematical Modeling of Collective Behavior in Socio-Economic and Life Sciences*.- 2010.- P.297-336.

6 Dong Y., Wang L., Yuan K., Ji F., Gao J., Zhang Z., Du X., Tian Y., Wang Q., Zhang L. Magnetic Microswarm Composed of Porous Nanocatalysts for Targeted Elimination of Biofilm Occlusion// *American Chemical Society Nano*, 2021.-15(3).- P.5056-5057.

7 Hao Zhou, Shan Jing, Xiong Yu, Han Zhou, Wenjie Lan b, Shaowei Li. Study of droplet breakage in a pulsed disc and doughnut column-Part I: Experiments and correlations//*Chemical Engineering Science*. P. 172-183.

8 Jose R., Singh V., Swarming in Bacteria, *J. Indian Inst. Sci.//A Multidisciplinary Reviews Journal*.-2020.- 100(3), P.515-524.

9 Monaco J.D., Hwang G.M., Schultz K.M., Zhang K. Cognitive Swarming in Complex Environments with Attractor Dynamics and Oscillatory Computing// *Biological Cybernetics*.- 2020.- 114(2), P.269-284.

10 Brener A.M. Adaptation of Random Walk Methods to the Modelling of Liquid Distribution in Packed Columns// In: *Advances in Fluid Mechanics IV*, WIT Press.- 2002.- P.291-300.

11 Brener A.M. Nonlocal Model of Aggregation in Dispersed Systems// *Theoretical Foundations of Chemical Engineering*. 2002.- 45(3), P.349-353.

Brener A., Musabekova L.M., Jamankarayeva M.A. Stochastic Lattice Model of Aggregation in Heterogeneous Polydisperse Media// Chemical Engineering Transactions.- 2017.- V.60.- P.79-84.

Brener A.M., Musabekova L.M., Dausheyeva N.B. On Modelling the Swarming in Dispersed Systems// Chemical Engineering Transactions.- 2021.-84.- P.217-222.

**Ж. ЖАКСЫЛЫК<sup>1</sup>, Л. М. МУСАБЕКОВА<sup>2</sup>, К. Е. АРЫСТАНБАЕВ<sup>2</sup>,  
М. А. АМАНДИКОВ<sup>3</sup>, З. С. КОБЕЕВА<sup>4</sup>**

*М. Әуезов атындағы Оңтүстік Қазақстан университеті<sup>1</sup>, Шымкент қ., Қазақстан  
Оңтүстік Қазақстан медицина академиясы<sup>2</sup>, Шымкент қ., Қазақстан  
Академик Ә.Қуатбеков атындағы Халықтар достығы университеті<sup>3</sup>,  
Шымкент қ., Қазақстан  
Шымкент Университеті<sup>4</sup>, Шымкент қ., Қазақстан*

## **ДИСПЕРСИТТІК ЖҮЙЕЛЕРДЕГІ АГРЕГАЦИЯСЫ БАР БӨЛШЕКТЕРДІҢ ЖИНАУЫН СВОРМИНГТІ КОМПЬЮТЕРЛІК МОДЕЛЬДЕУ**

Алдыңғы жұмыстарда дисперсті ағындарда жоғары ретті кластерлер түзе отырып, бөлшектердің агрегациясымен бірге үйілу процестеріне жүйелі талдау жүргізілді. Талдау нәтижесінде үйілудің үш негізгі механизмін қарастыру ұсынылды. Алайда, бұрын тек инерциялық механизм егжей-тегжейлі қарастырылған. Ұсынылған жұмыста бұл тәсіл алғаш рет агрегация процесін ескере отырып, дисперсті жүйеде тарту механизмі бойынша үйілуді модельдеуге бейімделген. Зерттеудің жаңалығы, бұл дамудың өзіндік ерекшелігі мен тартылу орталықтарының әсерінен пайда болатын агрегациямен бірге жүретін үйінді құбылысының арнайы ықтималдық есептеу схемасы арқылы модельденуінде. Бұл өзара әрекеттесудің әртүрлі физикалық табиғатымен аттракциондық үйінді модельдеуге әмбебап тәсілді ұсынуға мүмкіндік береді. Мақалада алгоритм, сандық тәжірибелердің нәтижелері келтірілген және олардың қысқаша түсіндірмесі берілген.

**Түйін сөздер:** агрегация, тартымды үйінді, кластерлер, модельдеу, дисперсті жүйелер, стохастикалық тор.

**ZH. ZHAKSYLYK<sup>1</sup>, L. MUSABEKOVA<sup>2</sup>, K. ARYSTANBAYEV<sup>2</sup>,  
M. AMANDIKOV<sup>3</sup>, Z. KOBEEVA<sup>4</sup>**

*South Kazakhstan University named after M. Auezov<sup>1</sup>, Shymkent, Kazakhstan  
South Kazakhstan Medical Academy<sup>2</sup>, Shymkent, Kazakhstan  
Peoples' Friendship University named after Academician A.Kuatbekov<sup>3</sup>,  
Shymkent, Kazakhstan  
Shymkent University<sup>4</sup>, Shymkent, Kazakhstan*

## **COMPUTER SIMULATION OF SWARMING WITH AGGREGATION OF PARTICLES IN DISPERSIVE SYSTEMS**

*In the previous works a systematic analysis of swarming processes, accompanied by particles aggregation with the formation of high-order clusters in dispersed flows, has been carried out. As a result*

*of the analysis, it was proposed to consider three main swarming mechanisms. However, only the inertial mechanism was previously considered in detail. In the submitted work, this approach has been firstly adapted to simulating swarming according to the attractive mechanism in a dispersed system with allowance for the aggregation process. The research novelty, peculiarity, and originality of this development lie in that the phenomenon of swarming, accompanied by aggregation, arising under the influence of attraction centers, is modeled using a special probabilistic calculation scheme that is allowing to offer a universal approach to modeling attractive swarming under different physical nature of the interaction. The paper presents the algorithm, results of numerical experiments and gives their brief interpretation.*

**Keywords:** *aggregation, attraction swarming, clusters, modeling, dispersed systems, stochastic lattice.*

**G. Z. ZIYATBEKOVA<sup>1,2\*</sup>, B. D. AMANTAY<sup>2</sup>, S. M. NARBAYEVA<sup>2</sup>,  
S. K. ZAMANOVA<sup>2</sup>, K. T. AZANBAY<sup>2</sup>, R. S. MAGAZOV<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>RSE Institute of Information and Computational Technologies CS MSHE RK,  
Almaty, Kazakhstan,

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

## **ANALYSIS OF BUSINESS PROCESSES OF A PRINTING ENTERPRISE AND MODELING THE MANAGEMENT SYSTEM**

*Currently, information technology intensively covers all spheres of society and makes significant changes in society. Of course, there are many different views of information technology in the world. However, there are many benefits that information systems can bring to both individuals and businesses.*

*The goal of any company is to get ahead of its competitors and take a leading position in the market. He has many ways. One of them is digitalization, the introduction of information management system in the enterprise using computer technology. The article analyzes management information systems for the printing company. In addition, structural models of business processes of the printing company were demonstrated based on IDEF0 notation. Analyzing business processes, using a unified modeling language UML described the work of business processes printing company in an information management system.*

**Keywords:** *management information system, printing company, UML, IDEF0, business process, ERP.*

**Introduction.** One of the professions that has contributed greatly to the field of global production in general is printing. Mankind is in close contact with printing products on a daily basis. Printing is not a product, it is an industry that produces that product. A print shop is a printing company. That is, printing is an industry, a printing house is an enterprise of an industry, and printed products are the products made at this enterprise. Products made in the printing house:

- books;
- albums;
- journals;
- newspapers;
- visiting cards;
- booklets;
- flyers;
- posters, etc.

Accordingly, one of the important problems is to automate the business process at the printing company with information technology, because the work of this industry brings a huge benefit to humanity and the great demand for printed products.

Management information systems is an information system used to analyze, monitor, visualize information in an enterprise, organization, or institution, and to make effective decisions from the information obtained. Management information systems include people, processes, and technology. In addition, management information systems are focused on a

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [ziyatbekova@mail.ru](mailto:ziyatbekova@mail.ru)

specific business or organization and are characterized by the use of information technology to improve efficiency and business value. The achievement of good results by the enterprise lies in the close interaction of man and the information system. Enterprise management information system allows the head of the organization to obtain important and reliable information about the work of the company.

Using modern software products is a way to effectively manage an enterprise and increase its competitiveness [1].

Various studies show that the financial performance of the enterprise is directly related to the use of digital technology and management methods:

1. Enterprises that actively use information technology and new management methods are on average 26% more efficient than their competitors;

2. The financial performance of organizations that actively invest in digital technology, but 3. Other businesses that are constantly improving management methods and processes make up to 9% of profits, but can increase profits by using modern digital technology;

4. Given the conditions of digital transformation, the financial performance of enterprises that are not focused on the development strategy is poor [2].

**Experimental.** Information systems for business management is a modular, hardware-software complex. A large number of different modules in the information management system opens the way to the effective functioning of the processes of the printing company. Modules can be called elements that perform a specific function in the system.

Competition in the printing market is increasing every year, so increasing efficiency through the introduction of production management systems is becoming one of the most important issues. The creation and implementation of such systems allows to solve the following tasks:

1. Registration and Order Calculation;
2. Preparation of production documentation;
3. Production planning;
4. Production accounting;
5. Calculation of planned and actual costs;
6. Material consumption planning;
7. Accounting for papers and materials;
8. Calculation of finished products;
9. Analysis of results achieved;
10. Online control of the order progress [3].

For example, it is much more effective to implement an information management system and automatically get access to the financial statistics of the enterprise at once, than to calculate financial statistics separately. So we see that the function alone saves a lot of time. And now an information management system that includes several of these features can make a business more efficient and save time. Table 1 presents the function of the information management system of the printing enterprise and its characteristics.



**Table 1** – Functions and their description

Function	Description
Management of production processes	Management information systems can manage all phases of production, from planning to shipment of finished products. This will increase production efficiency and reduce turnaround time.
Financial management	Systems simplify the accounting of financial transactions, automatically generate invoices and reports, and control the costs and income of the company.
Management of production statistics	Systems can track production statistics
Human Resources Management	Systems can control employees' working hours, create work schedules. This improves performance.
Management of material resources	Systems can monitor the availability of necessary materials and automatically display missing materials and allows you to control their use. In turn, this avoids unnecessary delays and loss of time.

Currently, each management system for a printing company includes various functions. The more useful functions in the system, the greater the benefit the system can bring to the company.

Today, since the beginning of the period of the 3rd industrial revolution, the importance of computerization of business sectors has increased, many solutions have been formed to optimize and improve the efficiency of business processes by using digital technology. For example: enterprise resource planning (ERP), customer relationship management (CRM), etc.

Enterprise Resource Planning (ERP) is defined as follows: «a set of business applications or modules that link various business units of an organization, such as financial, accounting, manufacturing, and human resources, into a single system tightly integrated with a common information sharing platform across the business» [4].

To modify the business processes of any enterprise by implementing management information systems, you must first model the business process.

**Result and discussion.** The execution of services in the company is carried out by operators. The task of operators is the quality of the order and the correct calculation of the cost of services performed. The cost is calculated according to the internal document of the organization with the name «Price List». Wages for the operators of the copy center are based on the amount of completed orders.

In the copying and printing department there is also a manager, who appoints the person responsible for taking the order and its implementation, as well as the manager issues the necessary products on the memo, if the service is performed for the needs of the enterprise.

The department provides the following range of services:

- Color and black and white photocopying;
- Scanning;
- Emailing files;
- Typesetting and printing of texts, drawings, diagrams;

- Color large-format printing of photos, posters, posters;
- Binding of documents, abstracts, thesis projects, etc. (traditional method and MetalBind equipment);
- Lamination;
- Foiling;
- Receiving and sending faxes for customers;
- Development of embroidery schemes on A3, A4 formats;
- Web searching;
- Stapling;
- Recording of information on data carriers;
- Cutting;
- Framing an image;
- Eyelet insertion.

Consider the model of the main business process of the department (Figure 1). Inputs to the process are order and cash, outputs are: completed order, proceeds and proceeds report. The mechanisms of the process are: the copy center operator, the cashier and the calculator, which calculates the cost of the order. The process is managed by the manager, the cost of orders is calculated according to the price list.

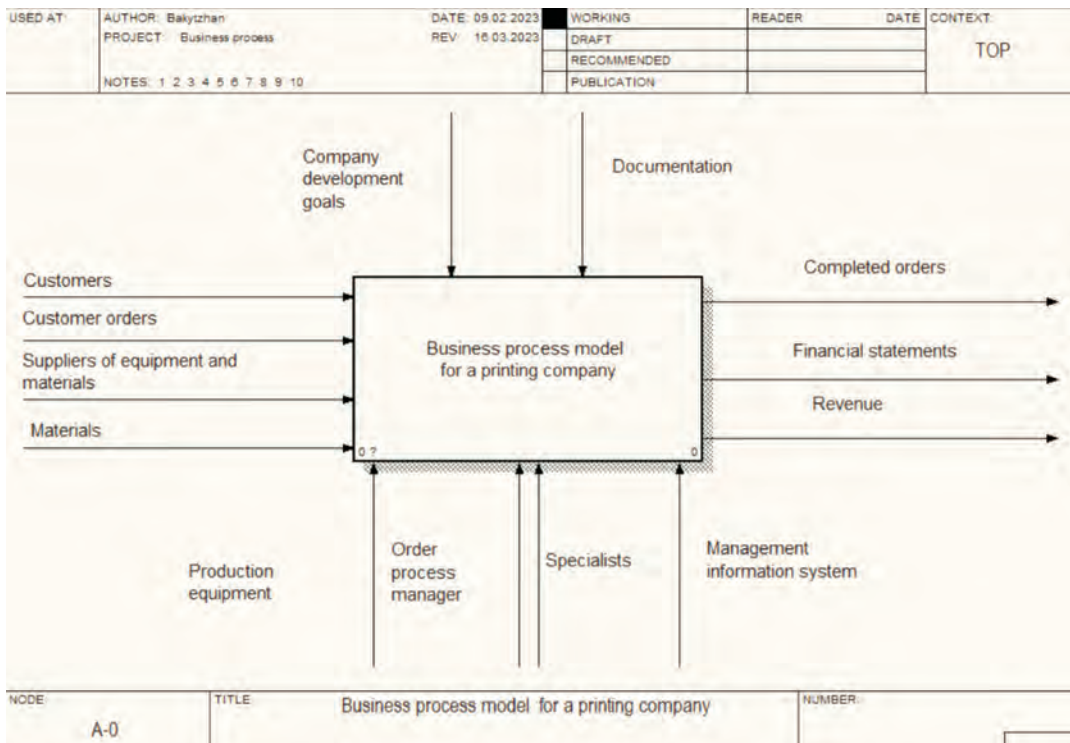
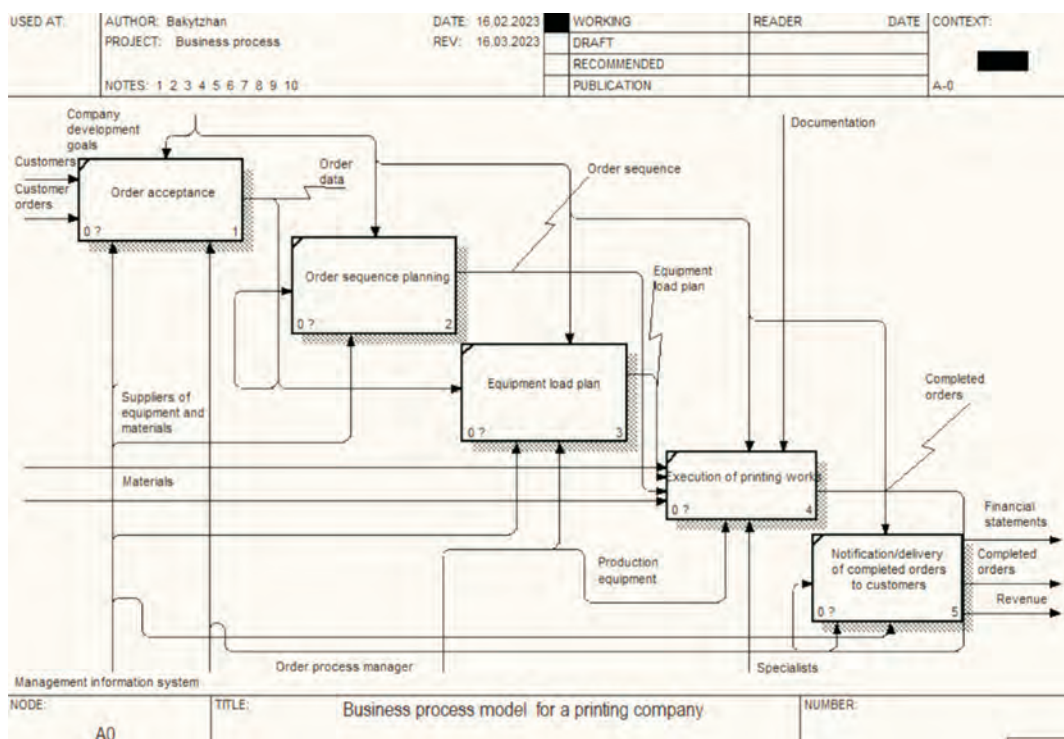


Figure 1 – Business process model for a printing company

To gain a deeper understanding of how a printing company works, we can divide the structural model shown in Figure 1 into several processes by decomposition and see the

input and output information of each process, as well as the controls and mechanisms. The order is accepted by the operator of the copy center. Depending on the required services, the operator calculates the cost of the order using a calculator according to the price list for the services of the department and gives the customer a receipt for payment. The client pays for the receipt at the cashier, and the receipt is marked for payment, and gives the receipt to the operator. The operator fulfills the order and gives it to the customer. At the end of each shift, operators generate a revenue report based on paid receipts. Figure 2 shows the business process model for calculating the cost of the order. It is this business process that is the bottleneck of the department.



**Figure 2** – Management model for the order fulfillment process

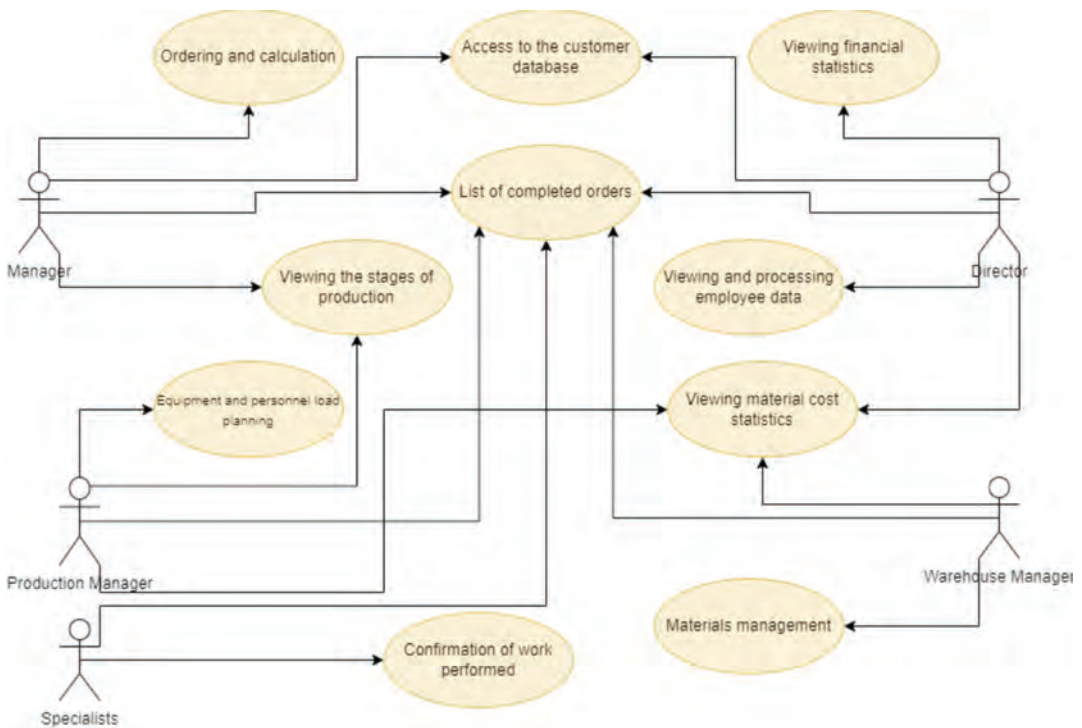
When calculating the cost of the order the operator, according to the price list, calculates the cost of. The cost of the order is fixed only in the receipt, the parameters (printing format, type of paper, etc.).

During the analysis of business processes in the subject area the following shortcomings were identified:

1. No control over the cost of the order.
2. Lack of control over consumables.
3. The possibility of errors in the calculation of the cost of the order.
4. Inaccurate data in the revenue report.

Due to the identified deficiencies, the business process has low efficiency [5].

By studying the business processes of a printing company and analyzing the processes in IDEF0 notation, you can develop an effective system for the company process. Figure 3 shows user access at various levels to functions in the information management system for the printing company based on the use case diagram in the UML environment and the operations they can perform in the system. The model has 5 users: manager, production manager, warehouse manager, personnel and director. There are also 9 operations that can be performed in the system: order processing and calculation, access to the customer database, view stages of production, view financial statistics, view and edit personnel data, view statistics on material costs, planning equipment and personnel load, materials management, confirmation of work performed.



**Figure 3** – Use case diagram

If we consider the manager as a bridge between the client and the company, then one of the functions of this employee in the management system is access to the client base. The client base is a part of the ERP-system, which contains information about the company's clients. It contains customer name, contact information, history of interaction with the company, information about orders, payments and much more. The manager can also calculate the customer's order simultaneously in the system. Another function of the manager is to follow the stages of production in an online format to inform the customer.

The warehouse manager has access to statistics on material management and material costs. Similarly, the production manager can see statistics related to materials. It also controls the stages of production, distributing the work of production planning and ordering

among employees in the system. Workers view their allotted work from the system and its conditions, deadlines, and press the confirmation button in the system when the work is done.

The head of the company has access to many functions in the system. For example, viewing financial statistics. In this case, the head of the company will know exactly the financial condition of the organization. Also has access to the client base. The head of the organization can view employee data and view statistics on the cost of materials in the enterprise [6].

In addition, any user registered in the system can view a list of completed orders in the company after authorization.

**Conclusions.** As a result of this work, the theoretical foundations of information systems, their nature and necessity.

Today, all companies, regardless of their field of activity, use information systems in their work, this also applies to printing companies. Information systems for printing enterprises must have certain properties that are inherent to printing enterprises or be able to adapt to them. Today there is a large list of information systems used by printers, each of which has its own advantages and disadvantages.

The article analyzes the structure and business processes of a printing company. In BPWIN, based on IDEF0 notation, the overall business process of the company was modeled. Also in the IDEF0 notation was decomposed structural model, and the work of the printing facility was analyzed from receipt of an order from the customer to the implementation of the order. Based on the analyzed information, users and functions of the information system of the printing enterprise were modeled on the use case diagram in the environment of the unified modeling language UML. On the basis of this model, the main function of the information management system has been demonstrated.

## REFERENCES

- 1 Borisova V.V., Demkina O.V., Mikhailova A.V., Zieliński R. The enterprise management system: evaluating the use of information technology and information systems // Polish Journal of Management Studies, 2019. – 20 (1). – Pp. 103-118. DOI: 10.17512/pjms.2019.20.1.09 (in Eng)
- 2 Kablashova I.V., Logunova I.V., Salikov Y.A. Innovative development of enterprise management system in the conditions of digital transformation // Production Organizer, 2019. (in Russ)
- 3 Ganieva N.M., Prikhodchenko N.A. Grudnenko I.O. Comparative analysis of automated enterprise management systems. Technique and technology of petrochemical and oil and gas production // Proceedings of the 8th International Scientific and Technical Conference. - Omsk: OmSTU Publishing House, 2018. ISBN 978-5-8042-0583-7 (in Russ)
- 4 Hankin, P., Almani, M., Saloni, K. An ISM analysis of the critical success factors in ERP implementation // Advances in Transdisciplinary Engineering, 2021. – Vol. 15. – Pp. 383-389. doi: 10.3233/ATDE210066 (in Eng)
- 5 Mironova G.V. Organization of polygraphic production: textbook. - Moscow: Publishing house of Moscow State University of Printing Arts, 2014. - 352 p. (in Russ)
- 6 Vinogradov V.M. Automation of technological processes and productions. Introduction to the specialty: Textbook / V.M. Vinogradov, A.A. Cherepakhin. - M.: Forum, 2018. (in Russ)



**Г. З. ЗИЯТБЕКОВА<sup>1,2</sup>, Б. Д. АМАНТАЙ<sup>2</sup>, С. М. НАРБАЕВА<sup>2</sup>, С. К. ЗАМАНОВА<sup>2</sup>,  
К. Т. АЗАНБАЙ<sup>2</sup>, Р. С. МАҒАЗОВ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Қазақстан Республикасы Ғылым және жоғары білім министрлігі Ақпараттық және есептеуіш технологиялар институты,  
Алматы қ., Қазақстан  
<sup>2</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан

### **ПОЛИГРАФИЯЛЫҚ КӘСІПОРЫННЫҢ БИЗНЕС-ПРОЦЕСТЕРІН ТАЛДАУ ЖӘНЕ БАСҚАРУ ЖҮЙЕСІН МОДЕЛЬДЕУ**

Қазіргі таңда ақпараттық технологиялар қоғамның барлық секторларын қарқынды түрде қамтып, қоғам өміріне елеулі өзгерістер алып келуде. Әрине, әлемде ақпараттық технологиялар туралы сан-түрлі көзқарастар қалыптасты. Дегенмен, ақпараттық жүйелердің жеке адамдарға да, бизнеске де әкелетін көптеген артықшылықтары бар.

Кез келген кәсіпорынның мақсаты бәсекелестік қабілетіне ие бола отырып, нарықта оза шауып жоғары деңгейге жету болып табылады. Оның көптеген жолдары бар. Олардың бірі цифрландыру, яғни компьютерлік технологияларды пайдалана отырып кәсіпорында ақпараттық басқару жүйесін енгізу болып табылады. Мақалада баспа кәсіпорны үшін ақпараттық басқару жүйелері талданады. Сонымен қатар, IDEF0 нотациясы негізінде полиграфиялық кәсіпорынның бизнес-процестерінің құрылымдық модельдері көрсетілетін болады. Бизнес-процестерді талдай отырып, UML унифицирленген модельдеу тілінде ақпараттық басқару жүйесіндегі полиграфиялық кәсіпорынның бизнес-процестерінің жұмысы сипатталды.

**Түйін сөздер:** ақпараттық басқару жүйесі, полиграфиялық кәсіпорын, UML, IDEF0, бизнес-процесс, ERP.

**Г. З. ЗИЯТБЕКОВА<sup>1,2</sup>, Б. Д. АМАНТАЙ<sup>2</sup>, С. М. НАРБАЕВА<sup>2</sup>, С. К. ЗАМАНОВА<sup>2</sup>,  
К. Т. АЗАНБАЙ<sup>2</sup>, Р. С. МАҒАЗОВ<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Институт информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК,  
г.Алматы, Казахстан  
<sup>2</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби,  
г.Алматы, Казахстан

### **АНАЛИЗ БИЗНЕС-ПРОЦЕССОВ ПОЛИГРАФИЧЕСКОГО ПРЕДПРИЯТИЯ И МОДЕЛИРОВАНИЕ СИСТЕМЫ УПРАВЛЕНИЯ**

В настоящее время информационные технологии интенсивно охватывают все сферы жизни общества и вносят существенные изменения в жизнь общества. Конечно, в мире существует множество различных взглядов на информационные технологии. Однако существует множество преимуществ, которые информационные системы могут принести как отдельным лицам, так и предприятиям.

Цель любого предприятия – опередить своих конкурентов и занять лидирующие позиции на рынке. У него много способов. Одним из них является цифровизация, внедрение системы информационного управления на предприятии с использованием компьютерных технологий. В статье проанализированы информационные системы управления для полиграфического предприятия.



Кроме того, были продемонстрированы структурные модели бизнес-процессов полиграфического предприятия на основе нотации IDEF0. Анализируя бизнес-процессы, на унифицированном языке моделирования UML была описана работа бизнес-процессов полиграфического предприятия в информационной системе управления.

**Ключевые слова:** информационная система управления, полиграфическое предприятие, UML, IDEF0, бизнес-процесс, ERP.

**A. ZH. SAYAZHANOVA\*, ZH. SAILAUKYZY, M. M. KOKKOZ,  
T. YA. KATSAGA, G. DANENOVA**

*Abylkas Saginov Karaganda Technical University,  
Karagandy, Kazakhstan  
sayazhanova@gmail.com, s\_k\_zhuldiz@mail.ru, makhabbat\_k@bk.ru,  
tkatsaga@itasca.ca, guldan72@mail.ru*

## **RESEARCH FOR A WEB SERVICE TO ANALYZE WAYS AND MEANS OF FORECASTING AND PREVENTING SUDDEN EMISSIONS OF COAL AND GAS IN COAL MINES**

*The mining industry plays an important role in the economic development of many countries. However, it is also associated with high risks to human life and the environment. One of the most significant dangers in coal mines is the sudden emissions of coal and gas, which can result in accidents and loss of life. In this article, we present the results of our research on a web service to analyze ways and means of forecasting and preventing sudden emissions of coal and gas in coal mines. The web service provides an efficient and reliable tool for mine operators to manage the risks associated with coal and gas emissions and ensure the safety of their employees.*

**Keywords:** *mining, machine learning, python, analysis, forecast.*

**Introduction.** The mining industry has always been associated with high risks to human life and the environment. Coal mining is one of the most significant contributors to the global energy sector, providing fuel for power generation and industrial processes. However, coal mining is also associated with high levels of risk, including accidents, injuries, and fatalities. One of the most significant dangers in coal mining is the sudden emissions of coal and gas, which can result in accidents and loss of life. Therefore, there is a pressing need for an efficient and reliable tool for mine operators to manage the risks associated with coal and gas emissions and ensure the safety of their employees.

The relevance of research methods for predicting areas of coal seams that are dangerous due to sudden emissions of coal, rock and gas consists in a relatively high probability of incidents and accidents associated with gas-dynamic manifestations of rock pressure. In the history of independent Kazakhstan, there have been 12 accidents at domestic mines. They claimed the lives of 160 people.

It is believed that one of the most important factors in the occurrence of a sudden release of coal and gas is a change in the structure of the formation and the structure of coal in the formation. Analyzing the data on coal and gas emissions that occurred in the mines of the Karaganda basin, it can be noted that in 91% of cases coal seams with a capacity of 3.5 m and above were exposed to emissions. Such emission-hazardous formations as  $k_{10}$ ,  $k_{12}$  and  $d_6$  have an average capacity of 5.2 to 8.3 m at the emission sites.

Underground geophysical monitoring at the sites of ongoing mining is carried out according to the schemes of longitudinal electro-profiling and dipole electromagnetic

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [sayazhanova@gmail.com](mailto:sayazhanova@gmail.com)

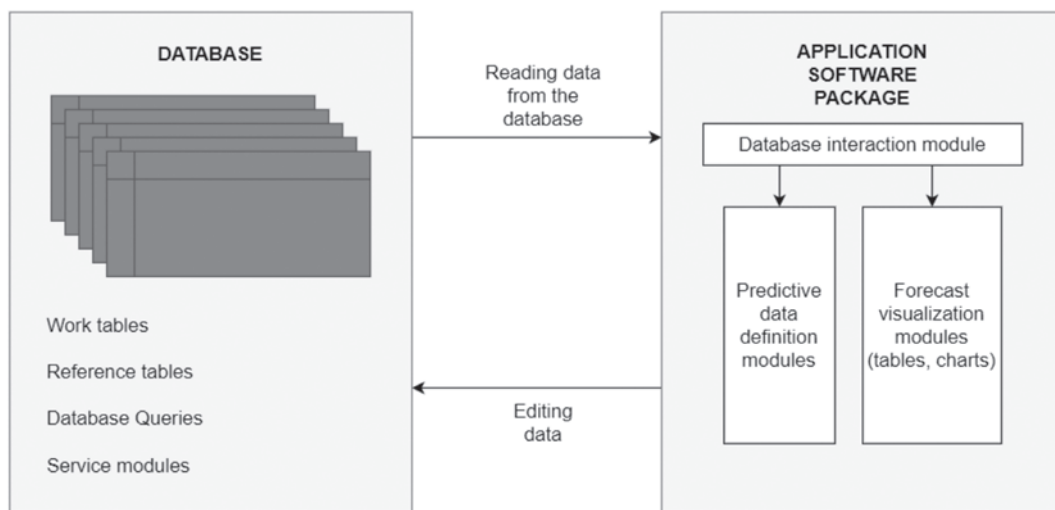
sounding. Monitoring is carried out on hazardous formations and formations exposed to the threat of sudden emissions, with the frequency prescribed by the instructions on sudden release of coal and gas. [1].

**Data analysis using the Python programming language.** The information system makes it possible to forecast coal production for a given period, and also allows you to prospectively evaluate working and newly commissioned mines according to the level of manufacturability of coal mining, including in typical conditions according to the characteristics of the destructible and the features of the geological structure of the layers. The full list of forward-looking estimates is as follows:

- forecast for coal production in general and broken down by brand across the industry and individual regions for the specified year;
- forecast on the level of technological efficiency of mines throughout the industry and in individual regions;
- forecast of mine layers by typical operating conditions;
- forecast of closure of existing mines due to mining of coal reserves.

The developed database functions under the management of a DBMS, so storing and making changes to the database will be much easier. In addition, by storing data in a DBMS, we can connect it to any application programs. In our case, the Python programming language was used for the DBMS client shell and the service for predicting results.

Together, the database and the application software package that implements the interface to the database and performs forecasting function according to the scheme shown in Figure 1.



**Figure 1** – The scheme of interaction between the database and the application package

The scheme consists of two main blocks: a database and an application package. There is a two-way communication between these blocks that implements the process of reading data from the database and transferring this information to an application package for further processing. In addition, the link implements the processes of editing records in

the database, deleting records and creating new ones. This communication is implemented using the ODBC interface.

Neural networks are very powerful for performing predictive analysis and solving analytical problems. They are widely used to classify data to detect patterns and make predictions. Business cases range from classifying and protecting customer data to classifying text, consumer behavior, and many other tasks. To train a neural network model, we need to go through the process of loading data, determining the parameters of the model, the model and the loss function, training the model on the training set and verifying the model using the validation set. To do this, facilitate the conversion of model input data into tensors using PyTorch [2], using the torch package.Tensor PyTorch (Figure 2).

```
# Convert Input and Output data to Tensors and create a TensorDataset
input = torch.Tensor(input.to_numpy())      # Create tensor of type torch.float32
output = torch.tensor(output.to_numpy())    # Create tensor type torch.int64
data = TensorDataset(input, output)        # Create a torch.utils.data.TensorDataset object
```

*Figure 2* – Converting model input and output data into tensor format

The Pytorch nn.Module neural network class provides an easy way to build a neural network. To do this, we only need to define the forward function, since the inverse function will be determined automatically (Figure 3).



*Figure 3* – Learning process neural networks for predicting sudden emissions

Database queries are fragments of program code in a structured query language (SQL) and are necessary for performing intermediate queries to the database, such as searching in a reference table or searching for a related record. Such queries are not stored separately in the database in the form of saved code, but are stored together with service or work tables. The use of service requests and their storage separately from the program code implementing the interface to the database provides simplification of the source code, facilitates its understanding and support. In addition, if there is a need to adjust database tables in the future, the use of service queries stored together with database objects eliminates the need for appropriate editing of the program code of the program interface to the database, which facilitates the support of the entire system as a whole and reduces the possibility of mistakes by the programmer.

The forecasting module allows us to get a report on coal production, on the level of manufacturability of mines and on typical conditions for a period specified by the user. In addition, this module edits the list of existing and prospective mines. Editing consists in excluding mines from the list of existing ones and simulating the commissioning of promising mines. At the same time, in the database, the mine is marked as operational or decommissioned. [3]

The web service uses machine learning algorithms to analyze this data and provide accurate and reliable forecasts of coal and gas emissions. The web service also provides a dashboard that displays real-time data and alerts mine operators to any potential risks. Additionally, the web service provides tools for mine operators to implement preventative measures, such as ventilation systems, gas detectors, and other safety measures. The web service provides an efficient and reliable tool for mine operators to manage the risks associated with coal and gas emissions and ensure the safety of their employees.

**Processing raw data into charts.** The dynamics of sudden emissions of coal and gas in the Karaganda basin is shown in Table 1. Especially a lot of emissions (on average, almost 3 emissions per year) occurred in 1959-1968 [4]. This is explained by the fact that in the first years of emissions in the basin, hazardous formations were developed without an outlier forecast and often without the use of methods to prevent coal and gas emissions. In the future, with the accumulation of experience in emissions control, the development and implementation of methods for predicting emissions and ways to control emissions, their number decreased. However, the volume of coal discarded has increased.

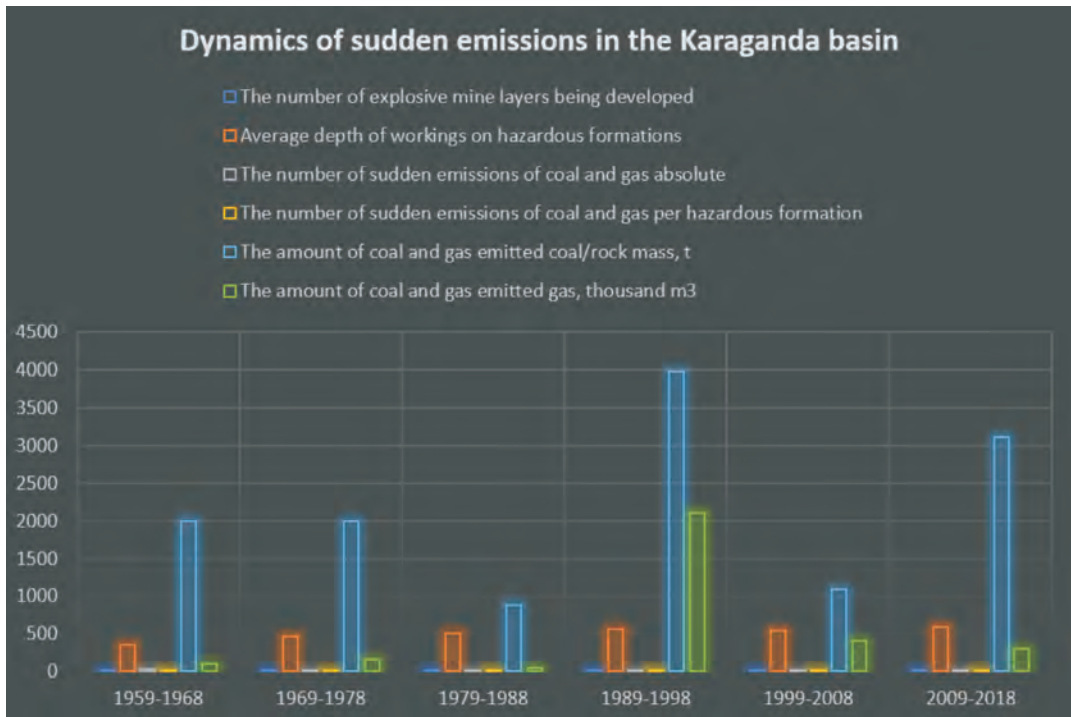
*Table 1* – Dynamics of sudden emissions in the Karaganda basin

Period of the year	The number of explosive mine layers being developed	Average depth of workings on hazardous formations	The number of sudden emissions of coal and gas		The amount of coal and gas emitted	
			absolute	per hazardous formation	coal/rock mass, <i>t</i>	gas, thousand <i>m</i> <sup>3</sup>
1959-1968	10	360	27	2,7	1998	105,36
1969-1978	18	470	16	0,89	1997	158,1
1979-1988	24	503	5	0,21	885	47
1989-1998	24	560	5	0,21	3980	2113,2
1999-2008	10	553	1	0,1	1087	414,09
2009-2018	16	587	5	0,31	3114	301,41

Visualization in the form of diagrams is an important part of the data analysis process because it allows data to be presented in a way that is easier to understand and interpret. Diagrams, such as charts, graphs, and maps, provide visual representations of complex data sets that allow viewers to quickly grasp trends, patterns, and relationships. This can be particularly useful when working with large datasets or when trying to communicate complex information to others.

In addition to making data easier to understand, data visualization can also be used to identify outliers and anomalies in data that might be missed through other forms of analysis.

The dynamics of sudden emissions in the Karaganda basin from Table 1 can be transformed into Diagram 1. Thus, we have a visual representation of how the statistical data changed from 1959 to 2018. The amount of coal and gas ejected and the average depth of workings in hazardous formations have increased significantly, thereby harming the environment. The number of developed explosive mine layers increased sharply in the period 1979-1998, then slowly but evenly this value began to fall. The absolute number of sudden emissions of coal and gas began to decrease from 27 to 5, and also reached a minimum extreme in the period 1999-2008.



**Figure 4** – Dynamics of sudden emissions in the Karaganda basin

The reasons for all emissions that occurred at the mines of the Karaganda basin, in accordance with the accepted classification, are given in Table 2. According to these data, it is possible to make an analysis of individual layers during the opening of field workings [4].

As can be seen from table 2, the majority of emissions (38 out of 59, or 64.4%) occurred in workings in which anti-emission measures were not applied. These are 18 emissions that occurred for the first time on formations or mine layers that were considered non-hazardous, and 20 emissions occurred on hazardous formations mainly until 1967, when emission control methods were practically not used, and in subsequent years anti-emission measures were not applied due to various weak organizational, mining and other reasons.

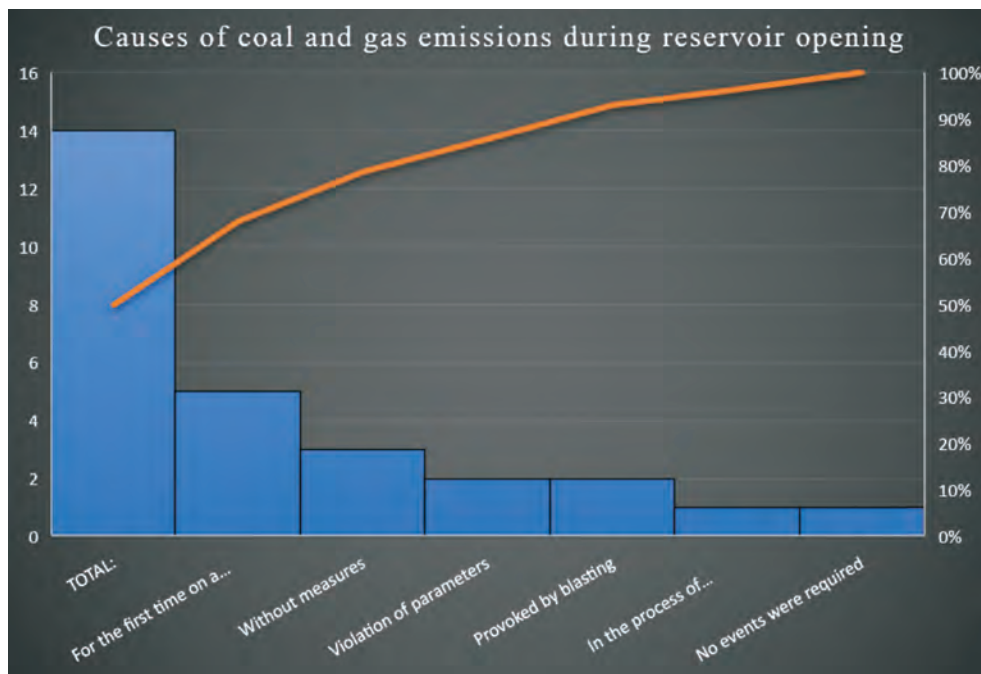


**Table 2** – Causes of coal and gas emissions during reservoir opening

Cause of emissions	Number of emissions	% of total emissions
For the first time on a seam, a mine layer	5	35,7
Without measures	3	21,4
Violation of parameters	2	14,3
Provoked by blasting	2	14,3
In the process of implementing measures	1	7,1
No events were required	1	7,1
TOTAL:	14	100

Taking table 2 as a basis, we can present a diagram that clearly clarifies the main causes of coal and gas emissions. To do this, we first need to analytically sort the data specified in these 2 tables. That is, the "raw data" must be processed before the "ready data".

Diagram 2 perfectly characterizes these "ready data" obtained from table 2. Here below we see the main causes of sudden emissions, as well as the amounts of these emissions are indicated vertically on the left, and percentage data on the right, which very clearly shows the growth of the emission hazard.



**Figure 5** – Causes of coal and gas emissions during reservoir opening

All further forecasts are based on the lists of mines operated in a given year. When calculating, all mines closed before the specified year and promising ones put into operation

after the year for which the forecast is being built are excluded from the list. The forecast is given to the user in tabular form or in the form of a graph.

**Conclusion.** Our research demonstrates the effectiveness of a web service to analyze ways and means of forecasting and preventing sudden emissions of coal and gas in coal mines. The web service provides an efficient and reliable tool for mine operators to manage the risks associated with coal and gas emissions and ensure the safety of their employees. The web service is a valuable addition to the toolkit of mining operators and will help to reduce the incidence of accidents and loss of life in coal mines. With further development and improvement, the web service has the potential to become a vital tool in the global efforts to improve the safety and sustainability of the mining industry.

## REFERENCES

- 1 Wang Wei, Peng Lai, Wang Xiaochao Prediction of Coal Mine Gas Emission Quantity Based on Grey-Gas Geologic Method / Mathematical Problems in Engineering. 2018. Article ID 4397237. p.7.
- 2 Egor Malykh PyTorch is your new deep learning framework / Machine learning. 2017. p.12.
- 3 Sailaukyzy Zh., Snitsar L.R., Klyueva E.G. BIG DATE technologies and infrastructure / Sailaukyzy Zh.: Publisher KSTU, Monograph, ISBN 978-601-315-415-2, 2021, p.7.25.
- 4 The Main Department of the Coal Department Joint Stock Company "ArcelorMittal Temirtau". Catalog of sudden coal and gas emissions that occurred at the mines of the Karaganda basin, Karaganda 2018.
- 5 Burkov Andrey Machine learning without unnecessary words. St. Petersburg, 2020. p.192.
- 6 Beazley David Python. Detailed reference guide. St. Petersburg: Symbol-Plus, 2010. p.864.
- 7 Yu. N. Tyurin, A. A. Makarov, I. R. Vysotsky, I. V. Yashchenko Probability theory and statistics - Moscow: JSC "Moscow Textbooks", 2014. p.256 .
- 8 K.E. Plokhonnikov, S.V. Kolkov Statistics: textbook. manual 4th edition. - Moscow: FLINT, 2012. p.288.
- 9 Thomas Nield Essential Math for Data Science. Take Control of Your Data with Fundamental Linear Algebra, Probability, and Statistics : detailed reference guide First Edition. - O'Reilly, 2022. p.323.

***А. Ж. САЯЖАНОВА, Ж. САЙЛАУҚЫЗЫ, М. М. КОККОЗ,  
Т. Я. КАЦАГА, Г. Т. ДАНЕНОВА***

*Әбілқас Сағынов атындағы Қарағанды техникалық университеті,  
Қарағанды қ., Қазақстан*

## **КӨМІР ШАХТАЛАРЫНДА КЕНЕТТЕН КӨМІР МЕН ГАЗ ШЫҒАРЫНДЫЛАРЫН БОЛЖАУ ЖӘНЕ АЛДЫН АЛУ ЖОЛДАРЫ МЕН ҚҰРАЛДАРЫН ТАЛДАУҒА АРНАЛҒАН ВЕБ-СЕРВИСКЕ АРНАЛҒАН ЗЕРТТЕУ**

*Тау-кен өнеркәсібі көптеген елдердің экономикалық дамуында маңызды рөл атқарады. Алайда, бұл адам өмірі мен қоршаған ортаға үлкен қауіп-қатермен байланысты. Көмір шахталарындағы ең үлкен қауіптердің бірі – кенеттен көмір мен газдың шығарылуы, бұл жазатайым оқиғалар*

мен адам өліміне әкелуі мүмкін. Бұл мақалада біз көмір шахталарында кенеттен көмір мен газ шығарындыларын болжау және алдын алу жолдары мен құралдарын талдауға арналған веб-сервистің зерттеу нәтижелерін ұсынамыз. Веб-сервис шахта операторларына көмір мен газ шығарындыларымен байланысты тәуекелдерді басқарудың және өз қызметкерлерінің қауіпсіздігін қамтамасыз етудің тиімді және сенімді құралын ұсынады.

**Түйін сөздер:** тау-кен өндірісі, машиналық оқыту, python, талдау, болжау.

**А. Ж. САЯЖАНОВА, Ж. САЙЛАУКЫЗЫ, М. М. КОККОЗ,  
Т. Я. КАЦАГА, Г. Т. ДАНЕНОВА**

*Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова,  
г. Караганда, Казахстан*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ ДЛЯ ВЕБ-СЕРВИСА ДЛЯ АНАЛИЗА ПУТЕЙ И СРЕДСТВ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ И ПРЕДОТВРАЩЕНИЯ ВНЕЗАПНЫХ ВЫБРОСОВ УГЛЯ И ГАЗА В УГОЛЬНЫХ ШАХТАХ**

*Горнодобывающая промышленность играет важную роль в экономическом развитии многих стран. Однако это также связано с высокими рисками для жизни человека и окружающей среды. Одной из наиболее серьезных опасностей в угольных шахтах являются внезапные выбросы угля и газа, которые могут привести к несчастным случаям и гибели людей. В этой статье мы представляем результаты нашего исследования – веб-сервиса для анализа путей и средств прогнозирования и предотвращения внезапных выбросов угля и газа в угольных шахтах. Веб-сервис предоставляет операторам шахт эффективный и надежный инструмент для управления рисками, связанными с выбросами угля и газа, и обеспечения безопасности своих сотрудников.*

**Ключевые слова:** добыча полезных ископаемых, машинное обучение, python, анализ, прогноз.

**И. Э. СУЛЕЙМЕНОВ<sup>1</sup>, Б. Б. ЕРМУХАМБЕТОВА<sup>1,2</sup>,  
Е. С. ВИТУЛЁВА<sup>1,2\*</sup>, Г. А. МУН<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup> *Национальная инженерная академия Республики Казахстан, г. Алматы, Казахстан*

<sup>2</sup> *Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*

## **РАЗРАБОТКА ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА ОБОРОННОГО ЗНАЧЕНИЯ: ВЗГЛЯД С ПОЗИЦИЙ КОНЦЕПЦИИ ЦИФРОВОГО БЕССМЕРТИЯ**

*Доказывается возможность создания систем квази-искусственного интеллекта на основе частичного переноса информации, составляющей личность индивидов, на небиологический носитель, что отвечает концепции цифрового бессмертия. Существенно, что интеллект является только частью структуры личности, причем той, которая допускает наиболее простую алгоритмизацию, в том числе за счет перехода к многозначной логике. Этот вывод позволяет кардинально трансформировать существующие подходы к созданию искусственного интеллекта, в том числе оборонного значения, так как нейронные сети или их аналоги, лежащие в его основе, могут быть обучены на основе действий конкретных людей, в том числе, военнослужащих. Наиболее существенным для реализации такого подхода является установление реальных закономерностей, отражающих поведение естественного интеллекта. Соответствующая методология предложена в данной работе. Ее основой является модернизированный аппарат диалектических категорий, позволяющий установить связи между понятиями, используемыми естественным интеллектом, и допускающий формализацию методами абстрактной алгебры. В качестве примера, демонстрирующего реалистичность предлагаемого подхода, используется построение системы базовых понятий, лежащих в основе естественных наук. Показано, что удобной отправной точкой является анализ истории становления таких понятий.*

**Ключевые слова:** *искусственный интеллект, цифровое бессмертие, нейронная сеть, перспективная военная техника, диалектические категории, многозначная логика.*

**Введение.** Концепциям трансгуманизма и постчеловечества, активно обсуждаемым в современной литературе [1-3], присущ весьма широкий разброс суждений. Внимание многих авторов концентрируется на целенаправленной трансформации человека с помощью технических средств, включая методы генной инженерии (их перечень был дан еще в [4]). Для целей данной работы наиболее важна та грань концепций трансгуманизма, которая так или иначе связана с идеей индивидуального бессмертия, озвученной еще Хаксли [5], который первым и использовал термин «трансгуманизм».

Один из вариантов концепции индивидуального бессмертия связан с «переносом» личности на небиологический носитель информации (концепция цифрового бессмертия [6]).

Важно подчеркнуть, что концепция трансгуманизма (точнее, комплекс концепций, объединяемых этим термином), сталкивается и со все более жесткой критикой. В частности, известны многочисленные работы, в которых трансгуманизм критикуется с религиозных или этических позиций [7,8].

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [Lizavita@list.ru](mailto:Lizavita@list.ru)

Особенно жесткие критические суждения высказываются в русскоязычной литературе [9,10]. Более того, в российской литературе критика концепций трансгуманизма и, в частности, идеи цифрового бессмертия приобретают выраженную политизированную окраску [10]. Часто идеи трансгуманизма рассматриваются в контексте информационной войны как инструмент деструктивного воздействия на умы граждан.

В данной работе показано, что, невзирая на справедливость многих положений, отстаиваемых авторами таких работ, как [9,10], огульная критика трансгуманизма, транслируемая на постсоветские страны, в частности, в казахстанское информационное пространство, становится не только вредной, но и крайне опасной, так как она способна вызвать торможение развития в критически важных областях науки и техники, в том числе имеющих выраженное оборонное значение.

Как показывает вся история развития науки и техники [11], любая область знаний развивается опережающими темпами тогда, когда она создает основу для систем вооружений нового типа.

Области исследований, связанные с концепцией трансгуманизма, не могут составлять исключения. Следовательно, отношение к исследованиям в данной области, сложившееся на постсоветском пространстве, должно быть пересмотрено. В них, прежде всего, нужно усмотреть не просто рациональное зерно, но теоретико-философский фундамент для разработок перспективных систем боевой техники. В первую очередь, это связано с тем, что исследования, нацеленные на «перенос» человеческой индивидуальности на небιологический носитель информации, становятся все более тесно связанными с разработками в области искусственного интеллекта [12]. Оборонное значение таких систем, очевидно, не требует доказательств.

Подчеркнем, что речь идет именно о теоретико-философском фундаменте, что также доказывается в данной работе. Впрочем, соответствующие тенденции уже вполне отчетливо прослеживаются в литературе.

Так, один из наиболее крупных специалистов в области философии логики и математической логики А.С. Карпенко в статье [13] отмечает: «Габбай предсказывает, что недалек тот день, когда ученый в области компьютерных наук проснется с осознанием того, что его профессиональный род деятельности принадлежит формальной философии».

Примером является рассматриваемая проблема: требуется обеспечить конвертацию философского понимания мышления в форму, которую специалисты в области информационных технологий могут использовать в непосредственной практической деятельности, в частности, для разработок систем искусственного интеллекта (ИИ) как приближающегося по своим возможностям к интеллекту человека, так и построенного на его основе.

**Методологические предпосылки.** Основой для выводов, сделанных в данной работе, является нейросетевая теория социума/ноосферы, систематически изложенная в монографии [14], получившая обоснование на уровне математических моделей, в частности, в [15].

В соответствии с данной теорией, наряду с обыденным (личностным) уровнем переработки информации, существует и надличностный.

В основе доказательства существования надличностного уровня переработки информации лежит простая идея [14]. Любое общение между людьми в действительности-

сти представляет собой обмен сигналами между нейронами, входящими в состав их головного мозга. Следовательно, формируется общая нейронная сеть. Подчеркиваем тот факт, что рассматриваемый обмен сигналами является спорадическим, никак не влияет на сделанный вывод. В том, что нейронная сеть может функционировать как системная целостность даже тогда, когда передача информации осуществляется без постоянно существующих каналов передачи данных, убеждает, в частности, пример оптических нейронных сетей [16].

Далее, обмен сигналами между нейронами, составляющими конкретный головной мозг, приводит к появлению сознания индивида. Сходным образом обмен сигналами в пределах общей нейронной сети приводит к появлению иных нетривиальных объектов аналогичной природы [14]. Их поведение остается малоизученным, однако сам вывод о существовании таких объектов заставляет посмотреть на вопрос о структуре личности (и, следовательно, на вопрос о ее перезаписи на небиологический носитель информации) несколько под другим углом зрения. Покажем, что данный вопрос представляет непосредственный интерес с точки зрения создания ИИ, приближающегося к биологическому прототипу.

**Перезапись интеллекта человека на небиологический носитель информации с точки зрения представлений о структуре личности.** В работе [12] подчеркивалось, что концепцию цифрового бессмертия вовсе не обязательно сразу реализовывать в полной мере, т.е. говорить о завершенном переносе личности на небиологический носитель информации. Основанием для такого подхода является вывод о том, что личность (индивидуальность) обладает весьма сложной структурой, который признается практически всеми психологическими школами. Одной из наиболее известных является схема Юнга, которая в упрощенной форме приведена на рис. 1.

Несколько забегая вперед, отметим, что перезапись *отдельных* компонент индивидуальности и позволяет создать то, что можно назвать *квазиискусственным* интеллектом, максимально приближенным к биологическому прототипу, что и делает важным рассмотрение структуры личности.

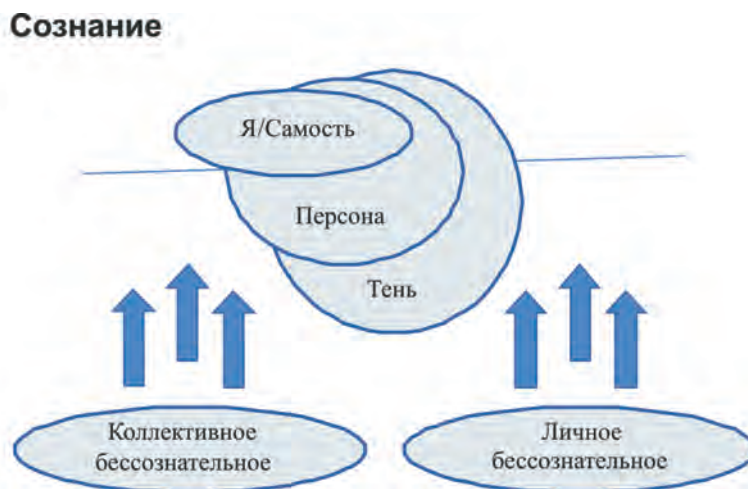


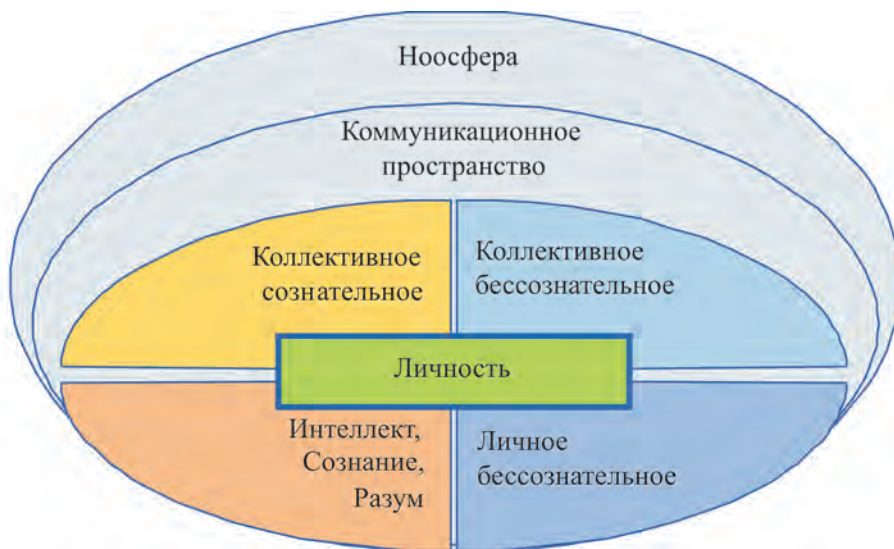
Рисунок 1 – Упрощенная схема структуры личности по Юнгу [12]



Напомним, что по Юнгу центром личности, вокруг которого группируются все ее остальные компоненты является т.н. «самость», делающая личность системным целым. По Юнгу, имеет место процесс длительного психологического созревания личности, называемого им индивидуализацией.

Вывод о сложном строении личности отчетливо коррелирует с выводом о том, что сознание, разум и интеллект человека не являются синонимичными понятиями, для чего существуют весьма веские аргументы, в том числе, философского характера [17].

Более того, схему строения личности, с учетом вывода о формировании надличностного уровня переработки информации, отраженным в [14,15], следует модернизировать. В частности, наряду с коллективным бессознательным, следует рассматривать и коллективное сознательное (которое, строго говоря не относится к отдельной личности, поскольку является сугубо коллективным явлением, рис.2).



**Рисунок 2** – Личность как относительно самостоятельный фрагмент ноосферы

В соответствии с доводами, представленными, в частности, в [14,18], система, обладающая интеллектом, вовсе не обязательно должна обладать сознанием. Это отражает, в том числе, схема, представленная на рис. 2. Интеллект человека есть та часть структуры личности, которая наиболее тесно примыкает к коллективному сознательному.

Упрощая, можно сказать, что интеллект есть «верхний слой» структуры личности, который проще всего перенести на небиологический носитель [12]. В этом имеется и вполне определенная практическая целесообразность. Действительно, если появляется возможность переписать на небиологический носитель интеллект конкретной личности (например, военнослужащего, приобретшего соответствующий опыт непосредственно за счет участия в боевых действиях), то отпадает необходимости созда-

вать ИИ, оборонного назначения сугубо искусственным путем. Во всяком случае, это относится, например, к боевым нейронным сетям тактического уровня [19].

Разумеется, такой подход не решает проблему цифрового бессмертия полностью, но позволяет существенно продвинуться в данном направлении, причем именно в практической плоскости, что и представляет основной интерес с рассматриваемой точки зрения.

Далее, не вызывает сомнений, что для переноса интеллекта индивида на небиологический носитель информации, в первую очередь, необходимо раскрыть алгоритмы, на основе которых он функционирует. *Это возвращает к вопросу о философских основаниях логики.*

Напомним, что, в соответствии с традицией, восходящей к Аристотелю, логика изначально рассматривалась именно как наука, устанавливающая законы мышления. Именно в таком ключе ее трактовал и Дж. Буль [20].

С методологической точки зрения, логику, понимаемую в этом ключе, вполне можно трактовать как «перенос» определенной составляющей интеллекта на небиологический носитель информации (таковой, очевидно, вовсе не обязательно должен представлять собой компьютер).

Мышление человека, однако, заведомо не сводится к двоичной логике [17], например, человек может приходиться к алогичным (с точки зрения логики Аристотеля) суждениям. Более того, в соответствии с доводами [17], отличительной способностью интеллекта человека является способность осознанно и целенаправленно лгать. Данная способность неотделима от способности к творчеству.

Следовательно, законы мышления, понимаемые как основа алгоритмов функционирования интеллекта человека, вряд ли могут быть установлены исключительно на основе умозаключений.

Необходим некий инструмент, который позволил бы установить их эмпирическим путем, в особенности если речь идет о перезаписи интеллекта конкретного человека на небиологический носитель информации.

Подчеркнем, что этот инструмент заведомо не должен быть связан с изучением физиологических или иных процессов, протекающих непосредственно в пределах головного мозга.

В литературе футуристического характера обсуждается вопрос о сканировании головного мозга с целью получения данных, которые далее могли быть перенесены на небиологический носитель информации. Такой подход, однако, не выглядит реалистичным, во всяком случае, на современном этапе исследований. Как минимум, процессы, протекающие в мозгу, связаны, в том числе, с обеспечением физиологии. Любые неточности при копировании приведут к появлению фантомных болей и т.д. Впрочем, даже это не является главным. При тотальном копировании оказывается невозможным разделить отдельные структурные компоненты личности (например, выделить интеллект), так как они все связаны с процессами, протекающими в мозге в целом.

Альтернативный вариант – анализировать работу мозга, рассматривая его как «черный ящик».

Оттолкнувшись от следующей аналогии. Линейную электронную схему можно реконструировать, если известна ее амплитудно-частотная характеристика. Точнее, та-

кой подход позволяет построить электронную схему, эквивалентную исходной. При этом регистрируется только отклик системы на сигналы заданной формы (на практике используются гармонические сигналы).

Аналогичный подход уже на данном этапе исследований применим и по отношению к сверточным нейронным сетям, широко используемым на практике в настоящее время [21]. В частности, для установления строения любой системы, выполняющей цифровую операцию свертки справедлив цифровой аналог теоремы о свертке [23], который применим для случая, когда сигнал описывается функциями, принимающими значения в полях Галуа. Подчеркнем, что именно классическая теорема о свертке и лежит в основе использования амплитудно-частотных характеристик линейных электронных цепей.

Следовательно, если отталкиваться от идей, лежащих в основе создания логически прозрачного ИИ, то реконструировать интеллект конкретного человека возможно, при условии, что известен достаточно большой массив данных, который связывает состояние «выхода» с состоянием «входа».

Возникает, однако, вопрос о том, в какой именно форме должны быть представлены эти данные. Интеллект человека оперирует словами естественного языка, составляющими определенную систему понятий. Это возвращает к вопросу о формализации этой системы и построению формальных процедур, в которых слова естественного языка могли бы фигурировать в форме неких «переменных».

**Алгоритмизация взаимосвязи между понятиями с точки зрения истории естествознания.** Любые понятия (слова) любого из естественных языков становятся осмысленными только постольку, поскольку они являются частью вполне системной определенной целостности, которой и является сам язык. С общеметодологической точки зрения это означает, что смысл понятиям придают именно связи между ними. В определенной степени этот факт используется в том научном направлении, которое использует термин «*онтология*» в *техническом* смысле этого термина [24]. Однако работы в данном направлении, как правило, отталкиваются от двоичной логики, более того, в рамках этого направления выявление связей между понятиями осуществляется сугубо формальным образом, без учета того факта, что система понятий, реализованная в любом из естественных языков, де-факто представляет собой отражение процессов мышления.

Язык, во-первых, представляет собой системную целостность, а, во-вторых, он является отражением процесса мышления. Иначе говоря, язык также представляет собой систему переработки информации, тесно связанную с такой системой переработки информации, как интеллект [25]. Доказать это утверждение нетрудно: любая теория, в том числе, естественнонаучная, в конечном счете, представляет собой некую подсистему естественного языка. В то же время, такая теория обеспечивает именно переработку информации, например, позволяет строить новые теоретические выводы на основе уже известных результатов [26].

При таком подходе конкретные механизмы реализации интеллекта (в частности, физиологические) действительно становятся вторичными. Упрощая, интеллект допустимо рассматривать как «черный ящик», устройство которого остается неизвестным, но алгоритмы функционирования которого могут быть раскрыты на основе сопостав-

ления сигналов на входе и на выходе, но такие «сигналы» представляют собой совокупности слов, объединенных *смыслом*. Он, в свою очередь, определяется *только* связью между понятиями.

Здесь уместно отметить, что существует тезис, названный в [26] тезисом Мальцева – Тарского. Он гласит, что всякое описание ситуации, которое, с точки зрения человека, является полным, точным и формальным, может быть представлено в виде алгебраической системы.

Этот тезис, как справедливо отмечается в цитированной работе, никто не доказал, но и не опроверг. Исходя из него, можно утверждать, что следует попытаться привести связи между словами (понятиями) естественного языка к алгебраической форме, что, в соответствии с выводами [17] заведомо предполагает использование многозначной логики.

Спектр операций, используемых в многозначных логиках, весьма широк. Соответственно, первым шагом здесь является выявление тех из них, которые действительно отвечают связям между понятиями естественного языка.

Для решения данной задачи целесообразно отталкиваться от подхода, который используется как диалектика для установления связи между предельными понятиями (философскими категориями). Им нельзя дать определение (в «школьном» смысле этого слова) именно в силу их фундаментальности, поэтому в рамках диалектики они определяются через противопоставление «Количество – Качество»; «Содержание – Форма» и т.д.

Операция противопоставления является не единственной операцией, позволяющей раскрывать связи между понятиями. С этих позиций, в частности, можно рассматривать возможности, предоставляемые законом отрицания. А именно, триада Гегеля «Тезис – Антитезис – Синтез» может быть применена, в том числе к установлению связей между понятиями, используемыми конкретными теориями (рис.3). В частности, это относится к категории «Мера».

Как будет ясно из дальнейшего, перечень операций, позволяющих выявляться связи между понятиями, может быть существенно расширен. Выявление такого рода связей, в свою очередь, отвечает поставленной задаче, так как именно понятия, которые нельзя определить иным образом, составляют некий «каркас» языка (или его ядро). Установив то, как формируется ядро языка, можно далее перейти к рассмотрению производных понятий.

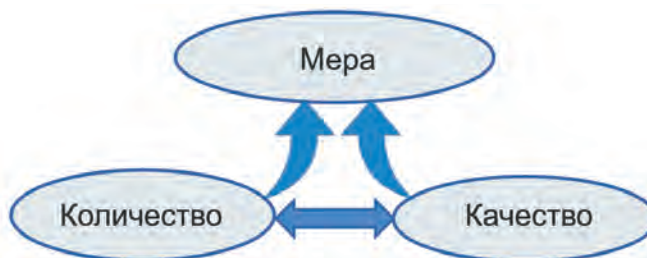


Рисунок 3 – Триада Гегеля как способ выявления связи между понятиями

Далее, для решения поставленной задачи (в конечном счете – использования реального опыта военнослужащих для создания ИИ оборонного значения) нет смысла

отталкиваться от формализации естественного языка в целом. Достаточно решить данную задачу по отношению к той подсистеме языка, которая и будет использоваться на практике.

Первым шагом на данном пути может быть решение сходной задачи для более простых ситуаций. В частности, для этой цели удобно воспользоваться построением понятийного аппарата, применяемого в естествознании. На первый взгляд, этот пример весьма далек от применения для создания ИИ оборонного значения, но на данном этапе исследований важно продемонстрировать правомочность и целесообразность использования предлагаемого подхода как такового.

Любопытно отметить, что хорошо известный «алхимический квадрат» (рис.4), сыгравший большую роль, также может рассматриваться с точки зрения установления связей между понятиями.

Это построение с очевидностью можно интерпретировать в терминах операций, отвечающих диалектике – оно целиком и полностью построено на противопоставлениях. В нем, однако, уже прослеживается еще одна операция, отвечающая установлению связей между понятиями. Это – операция выявления того качества, которое связывает пары понятий («Влажность», «Холод» и т.д.).

Фактически, речь идет о том, что операция диалектического противопоставления понятий позволяет конструировать дополнительные операции рассматриваемого типа. Рассмотрим еще одну из них на примере диалектической пары «Количество – Качество», рис. 5.

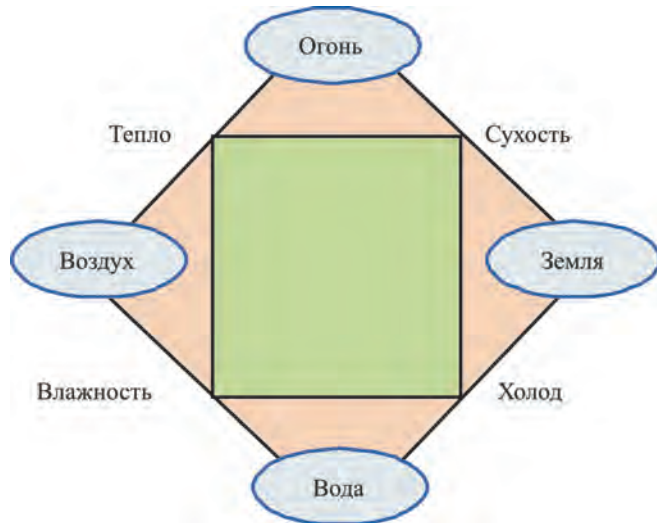


Рисунок 4 – «Алхимический квадрат»

Любой материальный объект обладает и качественными, и количественными характеристиками, и это определяет диалектическое единство рассматриваемых категорий. Однако существует понятие, которое заведомо лишено качества в указанном выше смысле. Это – понятие числа, которое является абстракцией, не существующей вне человеческого сознания. Допустимо утверждать, что при построении этой аб-



стракции диалектическая связь между рассматриваемой парой понятий оказывается разрушенной.

Следовательно, можно ввести в рассмотрение операцию отрицания («разрыва») диалектической связи между категориями, составляющими диалектическую пару.



**Рисунок 5** – Иллюстрация к использованию отрицания диалектической связи между парными категориями для формирования нового понятия

Далее, связь между понятиями не обязательно должна быть парной. В частности, связи между базовыми для химической науки понятиями (рис.3), скорее, отвечают троичной логике.



**Рисунок 6** – Связь между базовыми понятиями: случай соответствия троичной логике

На схеме рис. 6 фигурирует понятие «элемент». Рассмотрим его формирование более подробно. Этот пример действительно представляет существенный интерес, так как понятие «химический элемент» уже заведомо относится не к области философских категорий (для которой диалектика применяется традиционно), но к области вполне конкретной науки.

Покажем, что предлагаемый подход действительно позволяет определить рассматриваемое понятие предложенным способом, т.е. через установление связей между понятиями, допускающими формализацию средствами многозначной логики.

Это можно сделать при помощи операции «Понятийное И», Рис.7. Этот же рисунок подчеркивает, что существует возможность установить связь между парой категорий «Количество – Качество» и парой «Единичное – Множественное» через категорию числа.



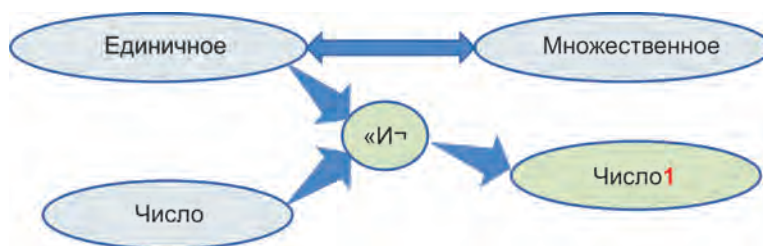


Рисунок 7 – Применение операции «Понятийное И» к построению понятия «Число 1»

Понятие числа 1 здесь выступает как результат применения операции «Понятийное И» к категориям «Единичное» и «Число».

Данная операция может показаться чем-то тривиальным, однако именно она позволяет истолковать термин «химический элемент» в терминах рассматриваемого подхода, т.е. сделать его элементом формализованной системы понятий, смысл каждого из которых устанавливается через их взаимосвязи друг с другом (рис.8).

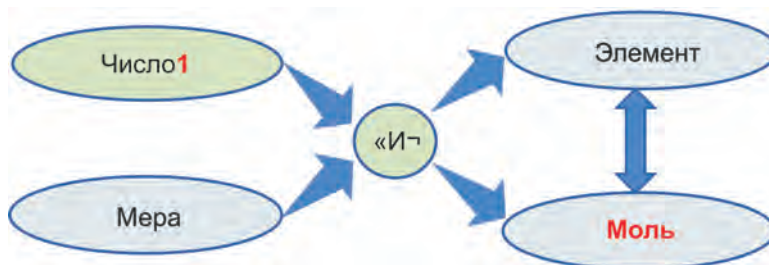


Рисунок 8 – К определению понятия «химический элемент» как составляющей системы взаимозависимых понятий, определяемых через связи друг с другом

Существует важнейший нюанс, который, собственно, и заставляет обратиться к истории химии, рассматривая методы построения систем понятий, отталкивающихся от аппарата диалектических категорий.

А именно, **построение системы понятий** неотделимо от вопроса о построении **аксиоматики**.

В обоих случаях речь идет об отыскании или построении некоего набора «истин» (точнее – базовых положений, утверждений, понятий и т.д.), которые позволяют получать следствия, часто составляющие здание конкретной науки. Для геометрии таким набором суждений служат аксиомы Евклида, для классической механики – законы Ньютона и т.д.

История науки показывает, что применительно к вопросу о построении аксиоматики научная мысль всегда стремилась отыскать некие первоосновы. Так, физика прошла путь представлений об атомах как неделимых частицах к представлениям об элементарных частицах и кварках, описываемых в терминах теории поля.

Аллегорически такой подход можно уподобить попыткам найти фундамент, на котором строится здание науки, причем сугубо логическим путем, т.е. по той же схе-

ме, по которой была выстроена геометрия Евклида. Если продолжать пользоваться, аллегория нельзя не заметить, что науку, скорее, следует уподобить дереву. По мере ее развития разрастается не только «крона», т.е. следствия из базовых положений, практические приложения и т.д., но и «корни», т.е. то, что составляет фундамент в том понимании этого термина, который вытекает из аналогии с построением геометрии Евклида.

Рассматриваемая задача заведомо предполагает, что методика построения системы понятий (и ее полной формализации) должна быть в той или иной степени близка естественному языку. В противном случае не будет возможности для ее использования в целях построения квази-искусственных систем ИИ, о которых говорилось выше.

Следовательно, «фундамент» такой системы понятий должен быть заведомо близок к тому уровню организации материи, на котором оперирует обыденное сознание. Иначе ориентироваться здесь следует не на «корневую систему» (скажем, на теорию поля, в рамках которой формулируется понятие «кварк»), но на «ствол» дерева науки.

Именно в этом ключе мы и предлагаем строить формализацию системы понятий, содержащую категорию «химический элемент», что возвращает к истории химии.

А именно понятие химический элемент возникло в результате исследований, количественно характеризующих химические реакции. Эти исследования показали, что допустимо оперировать понятием «грамм-эквивалент». Этого понятия, в сущности, достаточно для того, чтобы записывать формулы химических соединений и уравнения химических реакций, даже не имея представления о существовании атомов. Отметим, что именно в таком ключе и записывались уравнения химических реакций еще на рубеже XIX и XX веков.

Понятие «грамм-эквивалент» позволяет умозрительно судить о существовании атомов даже без привлечения средств, предоставляемых физикой. Для этого достаточно просто поставить в соответствие грамм-эквивалент определенному количеству атомов. Отметим, что в современных химико-технологических расчетах такого рода понятия используются до сих пор. Единица измерения «моль» является общепринятой. Для целей данной статьи наиболее существенно, что, зная молярные массы (которые могут быть установлены на системе взглядов, отвечающих концу XIX века), можно рассчитать многие характеристики химических реакций, не имея представлений ни о числе Авогадро, ни о истинных весах атомов химических элементов.

Следовательно, понятие элемент (подчеркиваем – именно понятие, а не его детальная интерпретация, основанная на достижениях физики XX века) действительно может быть включена в рассматриваемую систему в соответствии с рис. 8.

Понятие «химический элемент» здесь выступает в связке с понятием «Моль», которое де-факто является производным от совокупности экспериментальных результатов и, следовательно, относится к обыденному уровню переработки информации.

**Заключение.** Таким образом, действительно можно наметить путь модернизации аппарата диалектических категорий, который позволяет выявить связи между понятиями, используемыми, по крайней мере, отдельными подъязыками (например, тем, что используется в военном деле, в химических науках и т.д.).

Все эти операции могут рассматриваться по аналогии с логическими. Основания для этого состоят в следующем. Предположим, что каждому понятию подъязыка можно поставить в соответствии определенное значение лингвистической переменной, которое, в свою очередь, ставится в соответствие определенному значению переменной многозначной логики. Тогда можно воспользоваться, в частности, результатами работы [27], где доказывалось, что любые операции над переменными многозначной логики (если только число значений переменных представляет собой степень простого числа) приводятся к алгебраической форме. Данный результат основан на использовании полей Галуа, но это не является единственной возможностью. Для той же цели можно использоваться и другие алгебраические структуры, например, конечные алгебраические кольца [28] и т.д.

Таким образом, можно видеть, что предложенная модернизация аппарата диалектических категорий, обеспечивающая выявление связей между понятиями естественного языка, действительно является решающим шагом на пути создания квази-искусственного интеллекта. Этот шаг позволяет получить необходимый объем сведений о характере функционирования естественного интеллекта без изучения физиологических процессов.

Первичным инструментом для реализации данного подхода может служить построение системы понятий, допускающих формализацию на основе многозначной логики, в любой области знаний. В данной работе показано, что для этой цели удобно использовать, в том числе и понятийный аппарат химической науки, неразрывно связанный с историей ее становления.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Комитета науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (грант № AP14870281).

## ЛИТЕРАТУРА

1 Díaz de Liaño, G., & Fernández-Götz, M. (2021). Posthumanism, New Humanism and Beyond. *Cambridge Archaeological Journal*, 31(3), 543–549. <https://doi.org/10.1017/S095977432100024X>

2 Guerreiro, J., Loureiro, S. M. C., Romero, J., Itani, O., & Eloy, S. (2022). Transhumanism and Engagement-Facilitating Technologies in Society. *Journal of Promotion Management*, 28(5), 537–558. <https://doi.org/10.1080/10496491.2021.2009615>

3 Benedikter, R., & Siepmann, K. (2016). “Transhumanism”: A New Global Political Trend? *Challenge*, 59(1), 47–59. <https://doi.org/10.1080/05775132.2015.1123574>

4 Fukuyama, F. (2004). Transhumanism. *Foreign Policy*, 144, 42. <https://doi.org/10.2307/4152980>

5 Huxley, J. (1957). *New Bottles for New Wine: Essays*. Chatto & Windus.

6 Ozdemir, M. (2015). Digital immortality. *Australasian Science*, 36(9), 14–16.

7 Sutton, A. (2015). Transhumanism: A New Kind of Promethean Hubris. *The New Bioethics: A Multidisciplinary Journal of Biotechnology and the Body*, 21(2), 117–127. <https://doi.org/10.1179/2050287715z.00000000060>

8 Childs, J. (2015). Beyond the Boundaries of Current Human Nature: Some Theological and Ethical Reflections on Transhumanism. *Dialog*, 54. <https://doi.org/10.1111/dial.12149>

9 Гречкина Е. Н. Трансгуманизм – мировоззрение XXI века или цивилизационная угроза человечеству // Гуманитарные, социально-экономические и общественные науки. – 2015. – №. 8. – С. 34–37.

10 Четверикова О. Трансгуманизм в российском образовании. Наши дети как товар. – 2022. – 416 с.

11 Сулейменов И.Э., Габриелян О.А., Седлакова З.З., Мун Г.А. История и философия науки. – А.: Изд-во КазНУ, – 2018. – 406 с.

12 Bakirov, A., Suleimenov, I., & Vitulyova, Y. (2023). To the Question of the Practical Implementation of “Digital Immortality” Technologies: New Approaches to the Creation of AI. In K. Arai (Ed.), *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2022, Volume 1* (Vol. 559, pp. 368–377). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18461-1\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18461-1_25)

13 Карпенко А. С. Современные исследования в философской логике // Вопросы философии. – 2003. – Т. 9. – С. 54-75.

14 Габриелян, О.А., Сулейменов, И.Э. Теория сложных систем: ноосферный контекст - Симферополь: Издательский дом ФГАОУ ВО «Крымский федеральный университет им. В.И. Вернадского». – 2023. – 168 с.

15 Suleimenov, I. E., Matrassulova, D. K., Moldakhan, I., Vitulyova, Y. S., Kabdushev, S. B., & Bakirov, A. S. (2022). Distributed memory of neural networks and the problem of the intelligence's essence. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(1), 510–520. <https://doi.org/10.11591/eei.v11i1.3463>

16 Kalimoldayev, M. N., Suleimenov, E. I., Pak, I. T., Vitulyova, E. S., Tasbulatova, Z. S., Yevstifeyev, V. N., & Mun, G. A. (2019). To the question of physical implementation of optical neural networks. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences* 2(434), 217–224. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.57>

17 Gabrielyan, O. A., Vitulyova, Y. S., Suleimenov, I. E. (2023) Multi-Valued Logics as an Advanced Basis for Artificial Intelligence (As an Example of Applied Philosophy) | WISDOM. (n.d.). Retrieved April 19, from <https://wisdomperiodical.com/index.php/wisdom/article/view/721>

18 Suleimenov, I. E., Vitulyova, Y. S., Bakirov, A. S., & Gabrielyan, O. A. (2020). Artificial Intelligence: What is it? *Proceedings of the 2020 6th International Conference on Computer and Technology Applications*, 22–25. <https://doi.org/10.1145/3397125.3397141>

19 Suleimenov, I. E., Gabrielyan, O. A., Malenko, S. A., Vitulyova, Y. S., & Nekita, A. G. (2021). Algorithmic Basis Of Battle Neural Networks And Crisis Phenomena In Modern Society. 247–255. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.12.03.33>

20 Клайн М. Математика. Утрата определенности. М.: Мир, 1984. – 446 с.

21 Afridi, M. J., Ross, A., & Shapiro, E. M. (2018). On automated source selection for transfer learning in convolutional neural networks. *Pattern Recognition*, 73, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.07.019>

22 Vitulyova, E. S., Matrassulova, D. K., & Suleimenov, I. E. (2021). New application of non-binary Galois fields Fourier transform: Digital analog of convolution theorem. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 23(3), 1718. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v23.i3.pp1718-1726>

23 Moldakhan, I., Matrassulova, D., Shaltykova, D., & Suleimenov, I. (2021). Some advantages of non-binary Galois fields for digital signal processing. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 23, 871–878. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v23.i2.pp871-878>

24 Добров Б. В., Иванов В.В., Лукашевич Н.В., Соловьев В.Д. Онтологии и тезаурусы: модели, инструменты, приложения. — М.: Бином. Лаборатория знаний, 2009. – 173 с.

25 Suleimenov, I. E. Gabrielyan, O. A., Vitulyova, Y. S., (2022) Dialectics of Scientific Revolutions from the Point of View of Innovations Theory | WISDOM. (n.d.). Retrieved April 19, 2023, from <https://wisdomperiodical.com/index.php/wisdom/article/view/913>

26 Пальчунов Д.Е. Моделирование мышления и формализация рефлексии. I: Теоретико-модельная формализация онтологии и рефлексии // Философия науки. – 2006. – № 4 (31). – С. 86–114.

27 Suleimenov, I. E., Vitulyova, Y. S., Kabdushev, S. B., & Bakirov, A. S. (2023). Improving the efficiency of using multivalued logic tools. *Scientific Reports*, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28272-1>

28 Suleimenov, I. E., Bakirov, A. S., & Vitulyova, Y. S. (2023). Prospects for the use of algebraic rings to describe the operation of convolutional neural networks. *Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Artificial Intelligence*, 1–7. <https://doi.org/10.1145/3571560.3571561>

## REFERENCES

1 Díaz de Liaño, G., & Fernández-Götz, M. (2021). Posthumanism, New Humanism and Beyond. *Cambridge Archaeological Journal*, 31(3), 543–549. <https://doi.org/10.1017/S095977432100024X>

2 Guerreiro, J., Loureiro, S. M. C., Romero, J., Itani, O., & Eloy, S. (2022). Transhumanism and Engagement-Facilitating Technologies in Society. *Journal of Promotion Management*, 28(5), 537–558. <https://doi.org/10.1080/10496491.2021.2009615>

3 Benedikter, R., & Siepmann, K. (2016). “Transhumanism”: A New Global Political Trend? *Challenge*, 59(1), 47–59. <https://doi.org/10.1080/05775132.2015.1123574>

4 Fukuyama, F. (2004). Transhumanism. *Foreign Policy*, 144, 42. <https://doi.org/10.2307/4152980>

5 Huxley, J. (1957). *New Bottles for New Wine: Essays*. Chatto & Windus.

6 Ozdemir, M. (2015). Digital immortality. *Australasian Science*, 36(9), 14-16.

7 Sutton, A. (2015). Transhumanism: A New Kind of Promethean Hubris. *The New Bioethics: A Multidisciplinary Journal of Biotechnology and the Body*, 21(2), 117–127. <https://doi.org/10.1179/2050287715z.00000000060>

8 Childs, J. (2015). Beyond the Boundaries of Current Human Nature: Some Theological and Ethical Reflections on Transhumanism. *Dialog*, 54. <https://doi.org/10.1111/dial.12149>

9 Grechkina E. N. Transgumanizm-mirovozzrenie XXI veka ili civilizaciennaya ugroza chelovechestvu //Gumanitarnye, social'no-ekonomicheskie i obshchestvennye nauki. – 2015. – №. 8. – S. 34-37.

10 CHetverikova O. Transgumanizm v rossijskom obrazovanii. Nashi deti kak tovar. – 2022. – 416 s.

11 Sulejmenov I.E., Gabrielyan O.A., Sedlakova Z.Z., Mun G.A. Istoriya i filosofiya nauki. – A.: Izd-vo KazNU, – 2018. – 406 s.

12 Bakirov, A., Suleimenov, I., & Vitulyova, Y. (2023). To the Question of the Practical Implementation of “Digital Immortality” Technologies: New Approaches to the Creation of AI. In K. Arai (Ed.), *Proceedings of the Future Technologies Conference (FTC) 2022, Volume 1 (Vol. 559, pp. 368–377)*. Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-031-18461-1\\_25](https://doi.org/10.1007/978-3-031-18461-1_25)

13 Karpenko A. S. Sovremennye issledovaniya v filosofskoj logike //Voprosy filosofii. – 2003. – T. 9. – S. 54-75.

14 Gabrielyan, O.A., Sulejmenov, I.E. Teoriya slozhnyh sistem: noosfernyj kontekst - Simferopol': Izdatel'skij dom FGAOU VO «Krymskij federal'nyj universitet im. VI. Vernadskogo». – 2023. – 168 s.

15 Suleimenov, I. E., Matrassulova, D. K., Moldakhan, I., Vitulyova, Y. S., Kabdushev, S. B., & Bakirov, A. S. (2022). Distributed memory of neural networks and the problem of the intelligence's essence. *Bulletin of Electrical Engineering and Informatics*, 11(1), 510–520. <https://doi.org/10.11591/eel.v11i1.3463>

16 Kalimoldayev, M. N., Suleimenov, E. I., Pak, I. T., Vitulyova, E. S., Tasbulatova, Z. S., Yevstifeyev, V. N., & Mun, G. A. (2019). To the question of physical implementation of optical neural networks. *News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, Series of Geology and Technical Sciences* 2(434), 217–224. <https://doi.org/10.32014/2019.2518-170X.57>



17 Gabrielyan, O. A., Vitulyova, Y. S., Suleimenov, I. E. (2023) Multi-Valued Logics as an Advanced Basis for Artificial Intelligence (As an Example of Applied Philosophy) | WISDOM. (n.d.). Retrieved April 19, from <https://wisdomperiodical.com/index.php/wisdom/article/view/721>

18 Suleimenov, I. E., Vitulyova, Y. S., Bakirov, A. S., & Gabrielyan, O. A. (2020). Artificial Intelligence: What is it? Proceedings of the 2020 6th International Conference on Computer and Technology Applications, 22–25. <https://doi.org/10.1145/3397125.3397141>

19 Suleimenov, I. E., Gabrielyan, O. A., Malenko, S. A., Vitulyova, Y. S., & Nekita, A. G. (2021). Algorithmic Basis Of Battle Neural Networks And Crisis Phenomena In Modern Society. 247–255. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2021.12.03.33>

20 Klajn M. Matematika. Utrata opredelennosti. M.: Mir, 1984. – 446 s.

21 Afridi, M. J., Ross, A., & Shapiro, E. M. (2018). On automated source selection for transfer learning in convolutional neural networks. Pattern Recognition, 73, 65–75. <https://doi.org/10.1016/j.patcog.2017.07.019>

22 Vitulyova, E. S., Matrassulova, D. K., & Suleimenov, I. E. (2021). New application of non-binary Galois fields Fourier transform: Digital analog of convolution theorem. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 23(3), 1718. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v23.i3.pp1718-1726>

23 Moldakhan, I., Matrassulova, D., Shaltykova, D., & Suleimenov, I. (2021). Some advantages of non-binary Galois fields for digital signal processing. Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science, 23, 871–878. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v23.i2.pp871-878>

24 Dobrov B. V., Ivanov V.V., Lukashevich N.V., Solov'ev V.D. Ontologii i teaurusy: modeli, instrumenty, prilozheniya. — M.: Binom. Laboratoriya znaniy, 2009. – 173 s.

25 Suleimenov, I. E. Gabrielyan, O. A., Vitulyova, Y. S., (2022) Dialectics of Scientific Revolutions from the Point of View of Innovations Theory | WISDOM. (n.d.). Retrieved April 19, 2023, from <https://wisdomperiodical.com/index.php/wisdom/article/view/913>

26 Pal'chunov D.E. Modelirovanie myshleniya i formalizaciya refleksii. I: Teoretiko- model'naya formalizaciya ontologii i refleksii // Filosofiya nauki. – 2006. – № 4 (31). – S. 86–114.

27 Suleimenov, I. E., Vitulyova, Y. S., Kabdushev, S. B., & Bakirov, A. S. (2023). Improving the efficiency of using multivalued logic tools. Scientific Reports, 13(1), Article 1. <https://doi.org/10.1038/s41598-023-28272-1>

28 Suleimenov, I. E., Bakirov, A. S., & Vitulyova, Y. S. (2023). Prospects for the use of algebraic rings to describe the operation of convolutional neural networks. Proceedings of the 6th International Conference on Advances in Artificial Intelligence, 1–7. <https://doi.org/10.1145/3571560.3571561>

**И. Э. СУЛЕЙМЕНОВ<sup>1</sup>, Б. Б. ЕРМУХАМБЕТОВА<sup>1,2</sup>,  
Е. С. ВИТУЛЁВА<sup>1,2</sup>, Г. А. МУН<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>Қазақстан Республикасының Ұлттық инженерлік академиясы,  
Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

## **ҚОРҒАНЫС МАҚСАТЫНДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТТИ ДАМЫТУ: ЦИФРЛЫҚ ӨЛМЕСТІК ТҰЖЫРЫМДАМАСЫ ТҮРҒЫСЫНАН КӨЗҚАРАС**

*Сандық өлместік тұжырымдамасына жауап беретін жеке тұлғаны құрайтын ақпаратты биологиялық емес тасымалдаушыға ішінара беру негізінде квази-жасанды интеллект жүйелерін*



құру мүмкіндігі дәлелденді. Интеллект жеке тұлға құрылымының бір бөлігі ғана, сонымен қатар қарапайым алгоритмдеуге мүмкіндік беретін, соның ішінде көп мағыналы логикаға көшу арқылы. Бұл тұжырым жасанды интеллект құрудың қолданыстағы тәсілдерін, соның ішінде қорғаныс маңыздылығын түбегейлі өзгертуге мүмкіндік береді, өйткені нейрондық желілер немесе оның аналогтары белгілі бір адамдардың, соның ішінде әскери қызметшілердің іс-әрекеттері негізінде оқытылуы мүмкін. Бұл тәсілді жүзеге асырудың ең маңыздысы-табиғи интеллекттің мінез-құлқын көрсететін нақты заңдылықтарды орнату. Бұл жұмыста тиісті әдістеме ұсынылған. Оның негізі-табиғи интеллект қолданатын ұғымдар арасында байланыс орнатуға мүмкіндік беретін және дерексіз алгебра әдістерімен ресімдеуге мүмкіндік беретін диалектикалық категориялардың жетілдірілген аппараты. Ұсынылған тәсілдің шынайылығын көрсететін мысал ретінде жаратылыстану ғылымдарының негізінде жатқан негізгі ұғымдар жүйесін құру қолданылады. Мұндай ұғымдардың қалыптасу тарихын талдау ыңғайлы бастама болып табылады.

**Түйін сөздер:** жасанды интеллект, цифрлық өлместік, нейрондық желі, жетілдірілген әскери техника, диалектикалық категориялар, көп мәнді логика.

**I. E. SULEIMENOV<sup>1</sup>, B. B. YERMUKHAMBETOVA<sup>1,2</sup>,  
Y. S. VITULYOVA<sup>1,2</sup>, G. A. MUN<sup>1,2</sup>**

<sup>1</sup>National Engineering Academy of the Republic of Kazakhstan, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan

## **DEVELOPMENT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE FOR DEFENSE PURPOSES: A VIEW FROM THE STANDPOINT OF THE CONCEPT OF DIGITAL IMMORTALITY**

*The possibility of creating quasi-artificial intelligence systems based on the partial transfer of information constituting the personality of individuals to a non-biological carrier is proved, which corresponds to the concept of digital immortality. It is essential that the intellect is only a part of the personality structure, and the one that allows the simplest algorithmization, including through the transition to multi-valued logic. This conclusion makes it possible to radically transform existing approaches to the creation of artificial intelligence, including for defense purposes, since neural networks or their analogues underlying it can be trained based on the actions of specific people, including military personnel. The most essential for the implementation of this approach is the establishment of real patterns that reflect the behavior of natural intelligence. The corresponding methodology is proposed in this paper. Its basis is the modernized apparatus of dialectical categories, which allows establishing connections between the concepts used by the natural intellect and allowing formalization by methods of abstract algebra. As an example, demonstrating the realism of the proposed approach, we use the construction of a system of basic concepts underlying the natural sciences. It is shown that a convenient starting point is the analysis of the history of the formation of such concepts.*

**Keywords:** artificial intelligence, digital immortality, neural network, advanced military technology, dialectical categories, multivalued logic.

**ZH. E. TEMIRBEKOVA\*, Z. M. ABDIAKHMETOVA, B. IMANBEK,  
G. TURKEN**

*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan  
e-mail: temyrbekovazhanerke2@gmail.com, zukhra.abdiakhmetova@gmail.com,  
baks\_teen@mail.ru, turken.gulzat@gmail.com*

## **COMPARATIVE ANALYSIS OF DATA CLASSIFICATION METHODS FOR PREDICTION OF TRADE-IN AUTO PRICES**

*In the presented article, machine learning algorithms are used to predict the price of cars. Forecasting the price of cars is one of the most important issues in modern times, because the number of car users is increasing year by year worldwide. Therefore, it may be interesting for many car owners to know the approximate price of cars in advance. The vehicle's build date, mileage, size and other parameters are essential data for the machine learning process. Based on these parameters, the data needed to predict the price of any car was classified and a training dataset was created. Based on this data set, some interesting predictions were made. The purpose of the article is to consider the pre-processing of data, to determine and analyze what achievements the direction of artificial intelligence has achieved on the basis of predicting the price of cars. Hybrid forecasting methods using statistical analysis and machine learning methods were used in the research.*

**Keywords:** machine learning, classification problems, logistic regression, random forest, decision tree, k-nearest neighbor, REST API.

**Introduction.** Machine learning (ML) has become one of the most exciting and breakthrough technologies of our time [1, 2]. Such large companies as Google, Apple, Microsoft, Amazon, and others invest significant capital in the development of methods and applications in this field of research, opening the way to new opportunities, becoming an integral part of life every day. For example, the Kaspi bank application makes a decision on loan approval or when Netflix recommends a movie that you might like, conversations with speech assistants on a smartphone are done using machine learning algorithms.

Working in the field of sales of new passenger cars and light commercial vehicles, we are faced with a global problem as a decline in production and new problems in logistics related to the disruption of supply chains. The key problem for the automotive industry since the summer of 2020 remains the shortage of electronic components, which is why car factories are forced to reduce the production of cars and go into downtime. This led to a shortage of cars and an increase in prices for new passenger cars. Compared to October 2020, sales fell by 18.1% in 2021. Analysts say that the automotive industry still has a long way to go to overcome the current crisis. Therefore, the management of R-Motors LADA LLC decided to compensate for the decline in sales of new cars by buying out a secondary car for further resale.

If the pricing in the primary car market includes logistics, taxes, the desired profit of the dealer, and the salary of the chain of its employees, then the factors of price formation for trade-in cars are much more extensive. Therefore, it is important to assess the condition of

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [temyrbekovazhanerke2@gmail.com](mailto:temyrbekovazhanerke2@gmail.com)

the machine as objectively as possible and, in accordance with this, set the cost, taking into account the indicators as: year of manufacture of the car; technical condition and condition of the body; mileage; features of the configuration; the time of sale (even the season in which the car is put up for sale has an impact on demand and, accordingly, the cost); the demand for the model in the market; service history.

The traditional approach to pricing is based entirely on the word of an expert who makes a decision based only on his experience.

Machine learning uses complex algorithms to take into account many factors and set the right prices for thousands of products in almost seconds [4]. Pricing models based on machine learning determine the patterns of the data obtained, which makes it possible to determine prices taking into account factors that the buyout manager might not even have guessed.

In practice, it is always recommended to compare the quality of at least several different learning algorithms in order to choose the best model for a particular task, since the most experienced data processing and analysis specialists will not be able to tell which algorithm is more efficient [3]. Algorithms may differ in the number of features or samples, the noise level in the data set, and whether classes are linearly separable or not. Within the framework of this article, classification methods such as logistic regression, random forest, decision tree, k nearest neighbors for predicting prices for supported cars using machine learning technology will be considered [4].

**Materials and methods of research.** The classification task is a subcategory of machine learning methods with a teacher, the purpose of which is to determine categorical class labels for the following instances based on historical observations [5]. Here, the definition of "with a teacher" refers to a collection of samples in which the necessary class membership labels are already known. When teaching with a teacher, a model is extracted, based on classification algorithms and from labeled training data, which allows making predictions about previously unknown or future data [6]. Another subcategory of teaching methods with a teacher is regression, where the result is a continuous value. Labels in the classification can have a binary nature, for example, filtering mail for spam and not spam. A typical example of multiclass classification is handwritten character recognition. There are many classification methods with different approaches to implementation. Each algorithm has its own characteristics and is based on certain assumptions. Ultimately, the quality of the classifier, the percentage of prediction accuracy depends on the training of the algorithm. During algorithm training, steps such as feature selection, selection of qualitative metrics, selection of classifier and optimization algorithms, evaluation of model quality, fine-tuning of the algorithm are involved. Classifiers based on the Decision Trees algorithm (DT) [7] are a hierarchical tree-like structure (subsets) that were formed by making decisions based on the formulation of a number of questions [8].

Step one: exclusion of features that do not carry a semantic load for incoming analysis. In this dataset, this is the id, vin code, links to the site where you can see the car in detail, coordinates.

Step two: imputation and deletion of data [9]. This is the process of replacing missing, incorrect values with other values.

Step three: Correlation analysis. It is the basis of statistical data analysis, the purpose of which is to determine the presence of any significant relationships, patterns or trends. The

result of this analysis is the correlation coefficient, which shows how strong the relationship between two variables in the data set is [10].

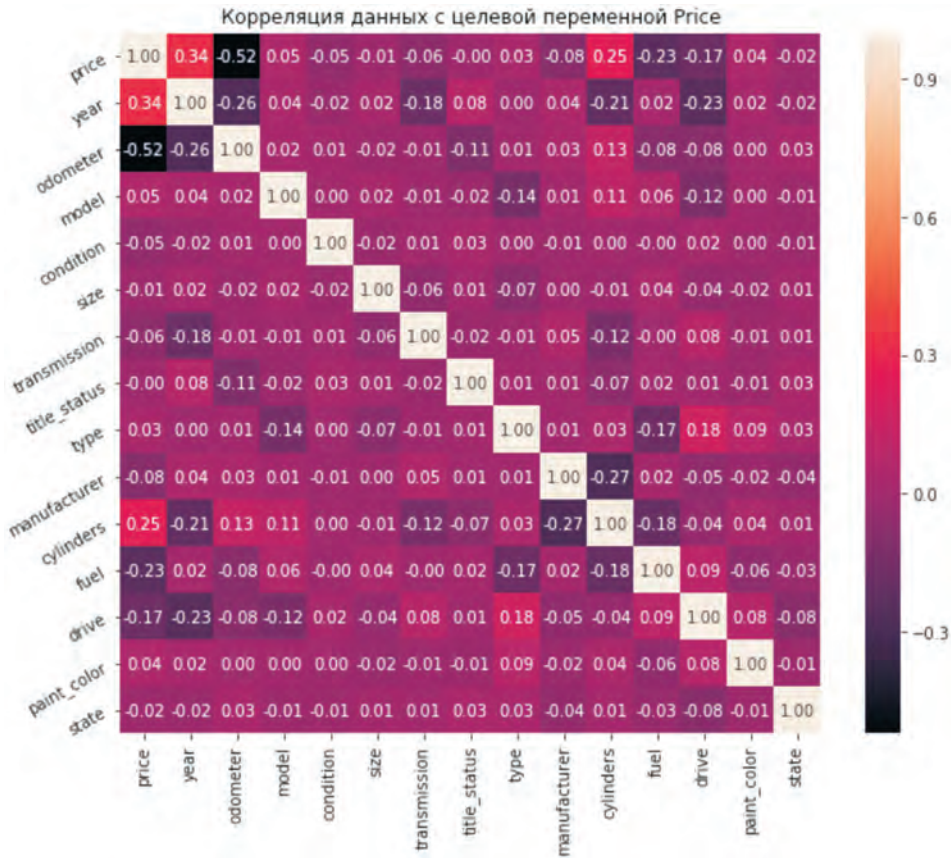


Figure 1 – Visualization of correlation analysis

In Figure 1 the correlation coefficient with the objective function is low, which may lead to a less accurate prediction. A heat map will be more effective in presenting data if redundant data is removed, which acts as distracting noise to data analysis. Step four: Get rid of emissions. Outliers are very different from other data sets, due to variability in measurements or during a data entry error [11-17]. If possible, outliers should be excluded from the dataset. However, detecting these abnormal instances can be difficult and not always possible.

Step five: Processing categorical data. The prediction result of algorithms such as decision tree can be obtained directly from categorical data without data transformation, when algorithms like KNN cannot work with categorical data directly. They require all input and output variables to be numeric. Therefore, to encode class labels, the LabelEncoder method of the scikit-learn library was used, which encodes dummy variables for categorical data once. Then you can apply a dictionary of correspondences to convert class labels to integers (Table 1).

**Table 1** – Dictionary of correspondence after assigning labels

№	Drive	Fuel	Color	Sign
1	FWD	Gas	Red	0
2	RWD	Diesel	White	1
3	AWD	Petrol	Black	0
4	4WD	Electric	Gray	1

**Results and discussions.** The training data was taken from the Haraba service [18]. This is a database of ads for supported cars from all over Russia since 2017. Data exchange with the Haraba service is carried out using the REST API architecture [19]. For this purpose, the Windows Service [20] has been written, the task of which is to send a request to Haraba every 10 minutes to receive new ads.

By requesting all historical data from the service, we get a dataset that has passed 5 stages of data processing, as described above. During the experiment, the proportion of 80:20 was used, thus dividing the set into training and test data. The task is to train the model to analyze each factor that affects pricing, and choose the most optimal among the 4 algorithms under consideration. Let's use the error matrix to visually represent the result of predicting the classifier of k nearest neighbors [6]. The values of the matrix give a summary of correct and incorrect forecasts, broken down by each category. The matrix shows  $0 + 2175 = 2175$  correct forecasts and  $257 + 5 = 262$  incorrect forecasts (Figure 2).



**Figure 2** – Evaluation of the classifier of k nearest neighbors using the error matrix

Classifying data using the k nearest neighbors algorithm shows the accuracy of the model was 0.86 at  $k = 5$ . During the experiment, the following questions were considered 2, 3, 4, 5, 6, 7 neighbors in the KNN model. With five or more neighbors, the boundaries of the solution showed smoother boundaries, assuming an optimal balance between over-training and under-training. Since the number of votes in the implementation of the KNN algorithm



between 5 and 6 neighbors is the same, it is preferable to choose the neighbors with the smallest distance to the sample. The average time to train the classifier took 1115.65 ms. In logistic regression, we use the default value  $C = 1$  (inversion force of regularization). This provides good performance with 0.89 accuracy for both training and test suite. The result given using the error matrix shows  $1188 + 51 = 1249$  correct predictions and  $38 + 0 = 38$  incorrect predictions (Figure 3). We will also give the result using a probability histogram (Figure 4). Among the classifiers under consideration, logistic regression turned out to be the fastest, showing a result of 215.15 msec.

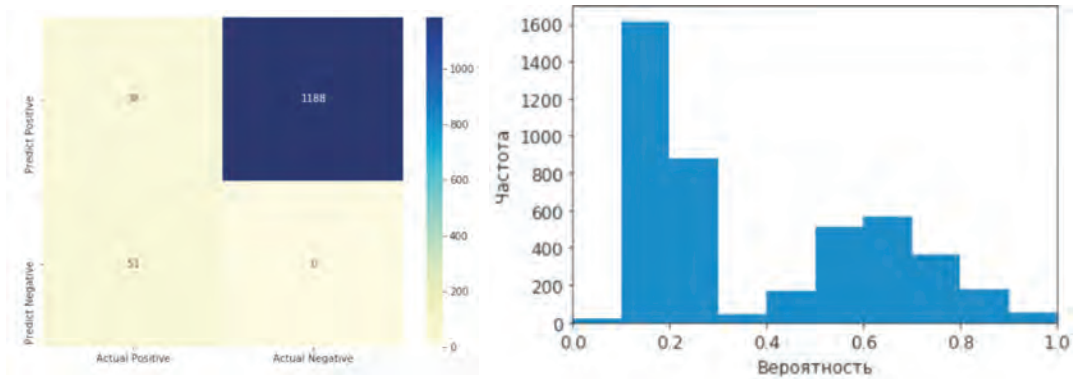


Figure 3 – a) Comparison of predictions with actual data using a logistic regression algorithm;  
 Figure 4 – b) Histogram of the probability of determining the price by logistic regression

In Figure 6, the histogram has a positive bias. The second column tells us that there are approximately 1600 observations with a probability from 0 to 0.2. There are a small number of observations with a probability greater than 0.5.

The result of forecasting using the decision tree method, with default parameters, also shows an excellent result with an accuracy of 0.93. 412.07 msec was spent on training, second in speed only to the model based on the logistic regression algorithm. The prediction result is presented using the error matrix (Figure 5).

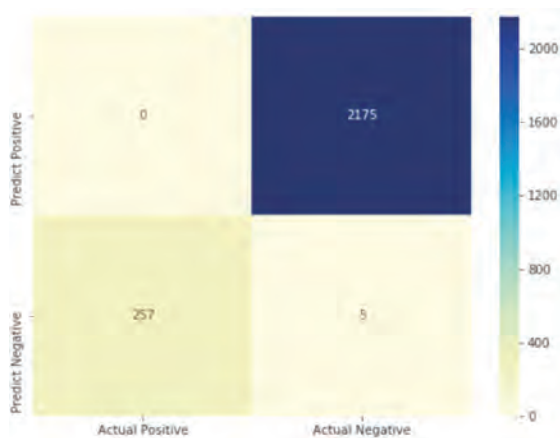


Figure 5 – Classifier evaluation decision tree using error matrix



And the last model considered in this article is a random forest. The model revealed more patterns in the data, showing the accuracy of the forecast at 94%, spending 541.03 msec on training. The result is presented as a ROC curve (Figure 6):

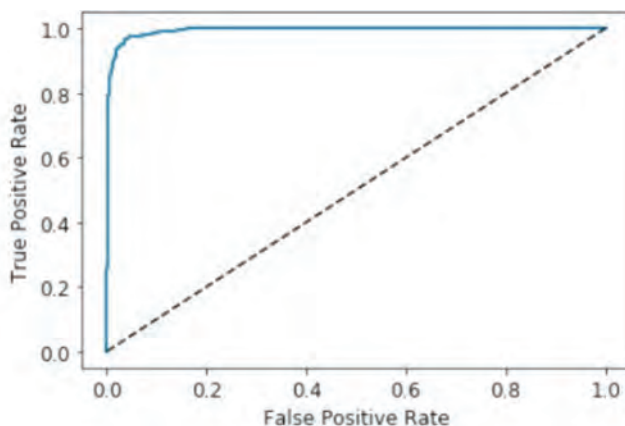


Figure 6 – ROC curve for a random forest

Since the classifier based on the random forest algorithm showed high results in predicting prices, it was decided to use the model to buy a secondary car.

**Conclusion.** This article describes how the current realities of the shortage of electronic components have led dealerships to resell supported cars, and how machine learning methods help to identify whether the price is too high and allows you to find the optimal solution in this segment. As a result, we got a system that requests new ads from the Haraba service every 10 minutes, analyzes the data received and, finding patterns, predicts the price and future demand for cars. Thanks to the introduction of machine learning in pricing issues, the company has optimized operational efficiency, using algorithms for price recommendations and sales forecasts, allowing managers to focus on strategic tasks.

## REFERENCES

- 1 Narender Kumar, Dharmender K. Machine Learning based Heart Disease Diagnosis using Non-Invasive Methods 2021 J. Phys.: Conf. Ser. 1950 012081.
- 2 Alarsan, F.I., Younes, M. Analysis and classification of heart diseases using heartbeat features and machine learning algorithms. J Big Data 6, 81 (2019). <https://doi.org/10.1186/s40537-019-0244-x>.
- 3 S. Rashka. Python i mashinnoe obuchenie [Python and machine learning]. — Moskva: DMK press, 2017. — 265 p.
- 4 Akhmed-Zaki D.Zh., Mukhambetzhonov S.T., Nurmakhanova Zh.M. and Abdiakhmetova Z.M. Using Wavelet Transform and Machine Learning to Predict Heart Fibrillation Disease on ECG 2021 IEEE International Conference on Smart Information Systems and Technologies 28-30 April, 2021, Nur-Sultan DOI 10.1109/SIST50301.2021.9465990.
- 5 R. Bil'bro, T. Oheda, B. Bengfort. Language-Aware Data Products with Machine Learning. — O'Reilly Media, 2018. — 313 p.
- 6 Zheron O. Prikladnoe mashinnoe obuchenie s pomoshch'yu Scikit-Learn i TensorFlow [Applied Machine Learning with Scikit-Learn and TensorFlow]. — Dialektika Vil'yams Al'fa-kniga, 2018. — 465 p.

7 Dzh.V. Plas. Python dlya slozhnyh zadach nauka o dannyh: mashinnoe obuchenie [Python for Complex Problems Data Science: Machine Learning]. — Piter, 2018. — 265 p.

8 S. Boslav. Statistika dlya vseh [Statistics for everyone]. — Moskva: DMK press, 2015. — 201 p.

9 B. Bengford, R. Bilbro. Prikladnoj analiz tekstovyh dannyh na Python. Mashinnoe obuchenie i sozdanie prilozhenij obrabotki estestvennogo yazyka [Applied analysis of text data in Python. Machine Learning and Building Natural Language Processing Applications]. Sankt-Peterburg: 2019. — 181 p.

10 H. Brink, D. Richards, M. Feverolf. Mashinnoe obuchenie [Machine learning] / Biblioteka programmista. — Piter, 2019. — 304 p.

11 F. Chollet. Deep learning with Python. — Manning, 2020. — 169 p.

12 A. Burkov. Mashinnoe obuchenie bez lishnih slov [Machine learning without further ado] / Biblioteka programmista. — Piter, 2020. — p. 60–69.

13 N. Shone, T. N. Ngoc, V. D. Phai, and Q. Shi. A deep learning approach to network intrusion detection // IEEE Trans. Emerg. Topics Comput. Intell. — Vol. 2, no. 1. — Pp. 41–50. — Feb. 2018.

14 Chistyakov C. P. Sluchajnye lesa: obzor // Trudy Karel'skogo nauchnogo centra RAN. 2013. No 1. st. 117–136.

15 Grishanov K. M., Belov Yu. S. Metod klassifikacii K-NN i ego primeneniye v raspoznavanii simvolov / Fundamental'nye problemy nauki. Sbornik statej Mezhdunarodnoj nauchno-prakticheskoy konferencii 15 maya 2016 g. CH. 3. Tyumen': NIC Aeterna, 2016. S. 30–33

16 Jenhani I., Amor N. B., Eloued Z. Decision trees as possibilistic classifiers // International Journal of Approximate Reasoning. — no. 48 (2008). — pp. 786–801. — Nov. 2008. <https://doi.org/10.1016/j.ijar.2007.12.002>.

17 Rymarczyk T., Kozłowski E. Logistic Regression for Machine Learning in Process Tomography // MDPI. — no. 19(15). — pp. 206–208. — Aug. 2019. <https://doi.org/10.3390/s19153400>

18 <https://haraba.ru>.

19 Sanjay P. Pro RESTful APIs Design, Build and Integrate with REST, JSON, XML and JAX-RS Apress, Berkeley, CA, 2018. <https://doi.org/10.1007/978-1-4842-2665-0>

20 Stephen R.G. Fraser Windows Services. In: Pro Visual C++/CLI and the .NET 2.0 Platform. Apress. 2006. [https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0109-0\\_14](https://doi.org/10.1007/978-1-4302-0109-0_14).

**Ж. Е. ТЕМИРБЕКОВА, З. М. АБДИАХМЕТОВА,  
Б. ИМАНБЕК, Г. ТҮРКЕН**

*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан*

## **TRADE-IN АВТО БАҒАЛАРЫН БОЛЖАУ КЕЗІНДЕ ЖІКТЕУ ӘДІСТЕРІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ**

*Ұсынылып отырған мақалада автокөліктердің бағасын болжау мақсатында машиналық оқыту алгоритмдері қолданылады. Көліктердің бағасын болжау – қазіргі заманда өзекті мәселелердің бірі, оның себебі автокөліктер қоланушылардың саны жылдан жылға дүние жүзі бойынша геометриялық прогрессиямен артуда. Сондықтан бұл мәселеде көліктердің бағасын шамамен алдын ала біліп отыру көптеген автокөлік иелері үшін қызықты болуы мүмкін. Көліктің құрастырылған мерзімі, жүгірісі, көлемі және басқа да параметрлері машиналық оқыту үрдісі үшін қажетті мәлімет болып табылады. Осы параметрлер негізінде кез-келген автокөлік бағасына болжауға қажетті деректерді жіктеп, оқытуға қажетті датасетті құрылған болатын. Осы мәліметтер жиыны негізінде біршама қызықты болжамдар жасалды. Мақаланың мақсаты*

– деректерді алдын-ала өңдеуді қарастырып, жасанды интеллект бағыты автокөліктердің бағасын болжау негізінде қандай жетістіктерге жеткенін айқындау және талдау. Зерттеуде статистикалық талдаулар мен машиналық оқыту әдістерін қолдана отырып гибриді болжау әдістері пайдаланылған.

**Түйін сөздер:** машиналық оқыту, жіктеу мәселелері, логистикалық регрессия, кездейсоқ орман, шешім ағашы,  $k$ -жақын көршілер, REST API.

**Ж. Е. ТЕМИРБЕКОВА<sup>1</sup>, З. М. АБДИАХМЕТОВА,  
Б. ИМАНБЕК, Г. ТУРКЕН**

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*

## **СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ КЛАССИФИКАЦИИ ДАННЫХ ПРИ ПРОГНОЗИРОВАНИИ ЦЕН TRADE-IN АВТО**

В представленной статье алгоритмы машинного обучения используются для прогнозирования цен автомобилей. Прогнозирование цен на автомобили является одним из наиболее важных вопросов в наше время, ведь количество пользователей автомобиля увеличивается с каждым годом во всем мире. Поэтому многим автовладельцам интересно заранее узнать приблизительную цену автомобилей. Дата сборки автомобиля, пробег, размер и другие параметры являются важными данными для процесса машинного обучения. На основе этих параметров были классифицированы данные, необходимые для прогнозирования цены любого автомобиля, и создан обучающий набор данных. На основе этого набора данных были сделаны некоторые интересные прогнозы. Цель статьи – рассмотреть предварительную обработку данных, определить и проанализировать, каких достижений добилось направление искусственного интеллекта на основе прогнозирования цены автомобилей. В исследовании использовались гибридные методы прогнозирования с использованием статистического анализа и методов машинного обучения.

**Ключевые слова:** машинное обучение, задача классификации, логистическая регрессия, случайный лес, дерево принятия решений,  $k$ -ближайших соседей, REST API.

**С. А. ТОЛЕНОВ\***, **Б. М. САГИТЖАНОВ**, **Е. Н. ЖОЛДАСОВ**, **А. М. ТОЛЕУШОВА**,  
**Н. К. ДОСМАГАМБЕТ**, **З. А. РАХМАТУЛЛА**, **А. Т. ИСКАКОВА**

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан*  
*tolenov.serik@mail.ru, beriksagitzhanov94@gmail.com, jera.kz@mail.ru,*  
*aida71193@mail.ru, nurdauletdosmagambet@gmail.com,*  
*rakhmatulla.zanggar@gmail.com, iskakova.1977@mail.ru*

## **СТРУКТУРНО-ПАРАМЕТРИЧЕСКИЙ СИНТЕЗ ПАРАЛЛЕЛЬНОГО МАНИПУЛЯТОРА С ДВУМЯ ПОЛЗУНАМИ**

*В данной работе изложены методы структурно-параметрического синтеза параллельного манипулятора (ПМ) с двумя ползунами, который может быть использован в технологической линии холодной штамповки для подачи заготовок и их штамповки. ПМ с двумя ползунами сформирован соединением двух ползунков (входного и выходного объектов) при помощи одной пассивной и одной негативной замыкающих кинематических цепей (ЗКЦ). Пассивная ЗКЦ не накладывает геометрическую связь на движения ползунков и геометрические параметры её звеньев варьируются.*

**Ключевые слова:** *параллельный манипулятор структурно – параметрический синтез, Чебышевское и квадратическое приближения.*

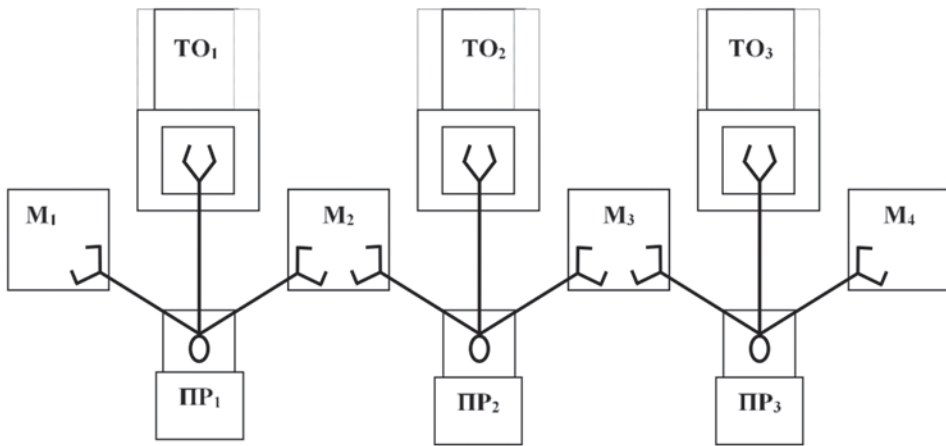
**Введение.** Задачи проектирования манипуляционных роботов как с серийными, так и параллельными манипуляторами в основном сводятся к решению обратной задачи кинематики и разработке систем управления и технических средств согласно полученным законам движений приводов [1-4]. При решении обратной задачи кинематики возможны неравномерность и реверсимость движения приводов, что ухудшает динамику манипуляционных роботов [5,6].

С целью улучшения динамических характеристик и упрощения систем управления проектируемых манипуляторов целесообразно задавать законы движения приводов наряду с заданными законами движений рабочих органов (схватов). Возможность задания законов движений приводов монотонно и равномерно улучшает динамические параметры, а само задание законов движений приводов существенно упрощает систему управления (в некоторых случаях исключает систему управления), следовательно, также повышается надежность и снижается себестоимость проектируемого манипулятора. Такие ПМ, обладающие свойством манипуляционных роботов, как воспроизведение заданных законов движений рабочих органов, и свойством механизмов, как задание законов движений приводов, названы ПМ класса RoboMech [7-8].

**Структура технологической линии холодной штамповки.** На рис. 1 показана схема простой однопоточной роботизированной технологической линии холодной штамповки [14], где ТО – основное технологическое оборудование, ПР – промышленный робот, М – магазин поштучной выдачи заготовок.

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [tolenov.serik@mail.ru](mailto:tolenov.serik@mail.ru)



**Рисунок 1** – Схема однопоточной роботизированной технологической линии холодной штамповки

Данная схема характерна для технологических процессов с малым циклом обработки предметов производства на технологическом оборудовании, что свойственно, в частности, процессам холодно-листовой штамповки. В этой схеме отсутствует межоперационная транспортная система, а изделия (предметы производства) передаются от одного технологического оборудования к другому непосредственно промышленными роботами.

Согласно разработанному принципу формирования ПМ класса RoboMech [19], объединяем основные технологические оборудования (гидравлические прессы) I и II с устройствами подачи заготовки III и отвода заготовок IV, а также объединяем два промышленных робота V и VI в один ПМ с двумя схватами.

Объединение гидравлических прессов I и II с устройствами подачи заготовки III и отвода заготовок IV в один ПМ I' и II' с двумя ползунами осуществляется соединением пуансонов Q' и Q'' гидроцилиндров I и II с ползунами P' и P'' устройств подачи заготовок III и отвода изделий IV при помощи пассивных замыкающих кинематических цепей (ЗКЦ) A'B'C' и A''B''C'', а также негативных ЗКЦ D'E' и D''E'', соответственно (Рисунок 2).

Объединение двух промышленных роботов (серийных манипуляторов) V и VI в один ПМ III' с двумя схватами осуществляется соединением звеньев B<sup>III</sup>C<sup>III</sup> и B<sup>IV</sup>C<sup>IV</sup> серийных манипуляторов A<sup>III</sup>B<sup>III</sup>C<sup>III</sup> и A<sup>IV</sup>B<sup>IV</sup>C<sup>IV</sup> при помощи негативной ЗКЦ D<sup>III</sup>E<sup>III</sup>F<sup>III</sup>.

В результате получим структурную схему технологической линии с ПМ класса RoboMech с тремя степенями свободы, где две степени свободы имеет прессы I' и II', одну степень свободы имеет ПМ с двумя схватами III'. Гидравлические прессы I и I' с устройствами подачи и отвода заготовок II и II' работают в плоскости OXY, манипулятор с двумя схватами III' работает в плоскости OXZ.

На рисунке 2 также показана структурная схема IV' ПМ, работающего в цилиндрической системе координат. Данный ПМ используется для складирования готовых изделий в ячейки.

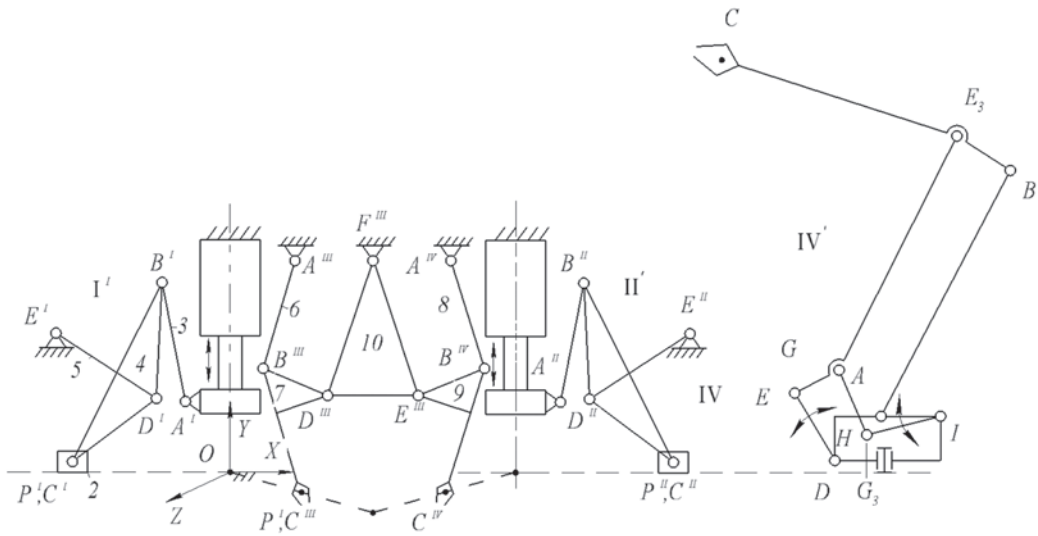


Рисунок 2 – Структурная схема технологической линии с ПМ класса RoboMech

Рассматриваемая технологическая линия с ПМ класса RoboMech работает следующим образом. При подаче заготовки для обработки прессом  $I'$  ползун  $P'$  занимает правое крайнее положения, а пуансон  $Q'$  гидроцилиндра занимает верхнее крайнее положение. При обработке заготовки пуансон  $Q'$  данного пресса занимает нижнее крайнее положение, а ползун  $P'$  возвращается в левое крайнее положение для доставки следующей заготовки. В момент возвращения пуансона  $Q'$  гидроцилиндра  $I'$  в верхнее положение первый захват  $C'''$  ПМ с двумя захватами занимает крайнее левое положение, захватывает обработанную заготовку и доставляет ее в магазин. В этот момент второй захват  $C''$  доставляет предыдущую обработанную заготовку в пресс  $II'$  для последующей обработки, т.е. занимает крайнее верхнее положение. После вторичной обработки заготовки готовое изделие ползуном  $P''$  доставляется в контейнер. Далее цикл повторяется.

После накопления изделий в контейнере он при помощи ПМ  $VI'$  складывается в ячейках. Особенностью данного ПМ является то, что его захват  $C^V$  воспроизводит серии горизонтальных и вертикальных траекторий. При этом серии горизонтальных траекторий воспроизводятся приводом (входным звеном)  $D^V E^V$ , а серии вертикальных траекторий – приводом  $I^V H^V$ . Вращение всего ПМ вокруг вертикальной оси обеспечивает пространственное движение схвата  $C^V$  в цилиндрической системе координат. Структурно-параметрический синтез данного ПМ рассмотрен в [8].

Рассмотрим структурно-параметрический синтез ПМ с двумя ползунами.

**Структурно-параметрический синтез ПМ с двумя ползунами.** Задачей структурно-параметрического синтеза ПМ с двумя ползунами является определение структурной схемы и геометрических параметров данного манипулятора, у которого, когда первый ползун  $Q$  (пуансон гидравлического пресса) занимает нижнее крайнее положение с ходом  $s_{Q_1}$ , то второй ползун  $P$  занимает левое крайнее положение с ходом  $s_{P_1}$  (Рисунок 3а), а также, когда первый ползун  $Q$  занимает верхнее крайнее



положение с ходом  $s_{P_N}$ , то второй ползун  $P$  занимает правое крайнее положение с ходом  $s_{Q_N}$  (Рисунок 3б). Для удобства отчета ходов ползунков абсолютная система координат  $OXY$  расположена в точке их пересечения.

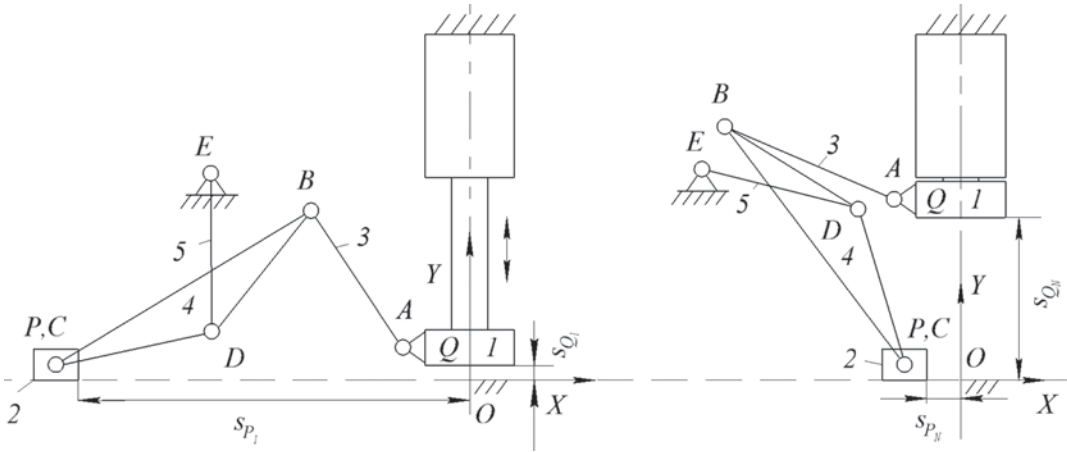


Рисунок 3 – Крайние положения ползунков  $P$  и  $Q$

Как было отмечено выше, для формирования ПМ с двумя ползунами, обеспечивающего заданные их положения, соединяем пуансон  $Q$  гидравлического пресса и ползун  $P$  при помощи диады  $ABC$  с вращательными кинематическими парами. Диада  $ABC$  имеет нулевую степень свободы и является пассивной ЗКЦ, которая не накладывает геометрические связи на движения пуансона  $Q$  и ползуна  $P$ . Следовательно, пассивная ЗКЦ  $ABC$  позволяет воспроизведение заданных движений ползунков  $Q$  и  $P$ . Затем соединяем звено  $BC$  диады  $ABC$  со стойкой при помощи бинарного звена  $DE$  с вращательными кинематическими парами, которое имеет одну отрицательную степень свободы и является негативной ЗКЦ. Негативная ЗКЦ  $DE$  накладывает одну геометрическую связь на движения ползунков  $Q$  и  $P$  и в результате получим структурную схему ПМ со структурной формулой  $I(0,1) \rightarrow III(3,4,2,5)$ , где кинематическая цепь 3-4-2-5 представляет собой группу Ассура третьего класса [15].

Параметрами синтеза (геометрическими параметрами звеньев) пассивной ЗКЦ  $ABC$  является вектор  $\mathbf{p}_1 = [x_A^{(1)}, y_A^{(1)}, x_C^{(2)}, y_C^{(2)}, l_{AB}, l_{BC}]^T$ , где  $x_A^{(1)}, y_A^{(1)}$  и  $x_C^{(2)}, y_C^{(2)}$  – координаты шарниров  $A$  и  $C$  в подвижных системах координат  $Qx_1y_1$  и  $Px_2y_2$ , соответственно,  $l_{AB}$  и  $l_{BC}$  – длины звеньев  $AB$  и  $BC$ . Поскольку пассивная ЗКЦ  $ABC$  не накладывает геометрические связи на движения ползунков  $Q$  и  $P$ , то ее параметры синтеза задаются. Негативная ЗКЦ  $DE$  накладывает одну геометрическую связь на движения звеньев  $AB$  и  $BC$  пассивной ЗКЦ  $ABC$ , поэтому его параметры синтеза определяются. Задаваемые параметры синтеза пассивной ЗКЦ  $ABC$  варьируются при помощи  $LP_\tau$  последовательности [16].

Рассмотрим параметрический синтез негативной ЗКЦ  $DE$ . Для этого необходимо предварительно определить угол  $\varphi_{di}$ , определяющий положение звена  $BC$ , выражением

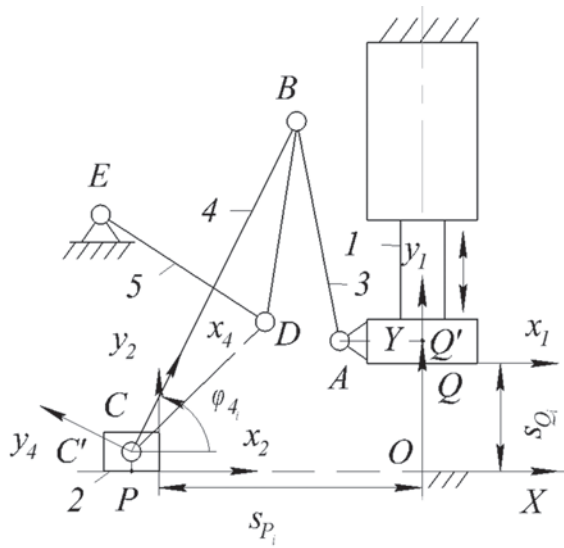


Рисунок 4 – Промежуточное положение ПМ с двумя ползунами

$$\varphi_{4_i} = \varphi_{(CA)_i} + \cos^{-1} \frac{l_{BC}^2 + l_{(CA)_i}^2 - l_{AB}^2}{l_{BC} l_{(CA)_i}}, \tag{1}$$

где

$$\varphi_{(CA)_i} = \operatorname{tg}^{-1} \frac{Y_A - Y_{C_i}}{X_A - X_{C_i}}, \tag{2}$$

$$l_{(CA)_i} = [(X_A - X_{C_i})^2 + (Y_A - Y_C)^2]^{\frac{1}{2}}. \tag{3}$$

Координаты  $X_A, Y_A$  и  $X_{C_i}, Y_{C_i}$  шарниров  $A$  и  $C$  в абсолютной системе координат  $OXY$  в уравнениях (2) и (3) определяются выражениями

$$X_A = x_A^{(1)}, Y_A = s_{Q_i} + y_A^{(1)}, X_{C_i} = -s_{P_i} + x_C^{(2)}, Y_C = y_C^{(2)}. \tag{4}$$

С звеном  $CB$  диады  $ABC$  соединяем систему координат  $CE_4y_4$ , ось  $CE_4$  которой направлена вдоль звена  $CB$ . Тогда параметрами синтеза негативной ЗКЦ  $DE$  является вектор  $\mathbf{p}_2 = [x_E^{(4)}, y_E^{(4)}, X_D, Y_D, l_{DE}]^T$ , где  $x_E^{(4)}, y_E^{(4)}$  и  $X_D, Y_D$  – координаты шарниров  $E$  и  $D$  в системах координат  $Cx_4y_4$  и  $OXY$  соответственно.

Рассмотрим движение плоскости  $Cx_4y_4$  в абсолютной системе координат  $OXY$ . При этом шарнир  $E(x_E^{(4)}, y_E^{(4)})$  движется по дуге окружности с центром в шарнире  $D(X_D, Y_D)$  и радиусом  $l_{DE}$ . Следовательно, уравнение геометрической связи, накладываемой негативной ЗКЦ  $DE$  вида  $BB$  на движение подвижной плоскости  $Cx_4y_4$ , выражается в виде взвешенной разности

$$\Delta q_i = (X_{E_i} - X_D)^2 + (Y_{E_i} - Y_D)^2 - l_{DE}^2, \quad (5)$$

где  $X_{E_i}$  и  $Y_{E_i}$  – координаты шарнира  $E$  в абсолютной системе координат  $OXY$ , которые определяются выражением

$$\begin{bmatrix} X_{E_i} \\ Y_{E_i} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_{C_i} \\ Y_{C_i} \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \cos \varphi_{4i} & -\sin \varphi_{4i} \\ \sin \varphi_{4i} & \cos \varphi_{4i} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x_E^{(2)} \\ y_E^{(2)} \end{bmatrix}. \quad (6)$$

После подстановки выражения (6) в уравнение (5) и при замене параметров синтеза вида

$$\begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} X_D \\ Y_D \end{bmatrix}, \begin{bmatrix} p_4 \\ p_5 \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} x_E^{(4)} \\ y_E^{(4)} \end{bmatrix}, p_3 = \frac{1}{2} (X_D^2 + Y_D^2 + x_E^{(4)2} + y_E^{(4)2} - l_{ED}^2) \quad (7)$$

функция (5) выражается линейно по двум группам параметров синтеза  $\mathbf{p}_2^{(1)} = [p_1, p_2, p_3]^T$  и  $\mathbf{p}_2^{(2)} = [p_4, p_5, p_3]^T$  в виде

$$\Delta q_i^{(k)} (\mathbf{p}_2^{(k)}) = \mathbf{g}_i^{(k)T} \mathbf{p}_2^{(k)} - g_{oi}^{(k)}, k = 1, 2, \quad (8)$$

где  $\mathbf{g}_i^{(k)}$  и  $g_{oi}^{(k)}$  – коэффициенты векторов  $\mathbf{p}_2^{(k)}$  и свободные члены, зависящие от оставшихся параметров синтеза, которые имеют вид

$$\mathbf{g}_i^{(1)} = - \begin{bmatrix} X_{C_i} \\ Y_{C_i} \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Gamma(\varphi_{4i}) & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_4 \\ p_5 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (9)$$

$$\mathbf{g}_i^{(2)} = - \begin{bmatrix} X_{C_i} \\ Y_{C_i} \\ 1 \end{bmatrix} - \begin{bmatrix} \Gamma(\varphi_{4i}) & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} X_{C_i} \\ Y_{C_i} \\ 1 \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} \Gamma(\varphi_{4i}) & 0 \\ 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \\ 0 \end{bmatrix}, \quad (10)$$

$$g_{oi}^{(1)} = -\frac{1}{2} [X_{C_i}^2 + Y_{C_i}^2] + [X_{C_i}, Y_{C_i}] \cdot \Gamma(\varphi_{4i}) \begin{bmatrix} p_4 \\ p_5 \end{bmatrix}, \quad (11)$$

$$g_{oi}^{(2)} = -\frac{1}{2} [X_{C_i}^2 + Y_{C_i}^2] - [X_{C_i}, Y_{C_i}] \cdot \begin{bmatrix} p_1 \\ p_2 \end{bmatrix}, \quad (12)$$

где  $\Gamma(\alpha)$  – матрица поворота вида

$$\Gamma(\alpha) = \begin{bmatrix} \cos \alpha & -\sin \alpha \\ \sin \alpha & \cos \alpha \end{bmatrix}. \quad (13)$$

Далее параметры синтеза рассматриваемого ПМ с двумя ползунами определяются на основе аппроксимационных задач Чебышевского и квадратического приближений, изложенных в [17].

**Заключение.** Разработана схема технологической линии холодной штамповки с применением ПМ класса RoboMech. В данной технологической линии использованы три ПМ класса RoboMech ПМ с двумя ползунами, ПМ с двумя схватами и ПМ, работающий в цилиндрической системе координат. ПМ с двумя ползунами сформирован соединением двух ползунов (входного и выходного объектов) при помощи одной пассивной и одной негативной ЗКЦ. Геометрические параметры звеньев негативной ЗКЦ определены на основе методов Чебышевского и квадратического приближений.

**Благодарность:** Данное исследование финансировано Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант №AP08857522).

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Fu K.S., Gonzalez Z.C., Lee C.S.G. Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence. McGraw–Hill Book Company, 1987.
- 2 Yoshikava T. Foundation of Robotics: Analysis and Control. MIT Press, 1990.
- 3 Gupta K.C. Mechanics and Control of Robots. Springer–Verlag, NY, 1997.
- 4 Spong M.W., Hutchinson S., Vidyasagar M. Robot Modeling and Control, John Wiley & Sons, Inc., Hobekon, N.J., 2006.
- 5 Song S.M., Lee J.K., Waldron K.J. Motion Study of Two – and Three–Dimensional Pantograph Mechanisms. Mechanism and Machine Theory, 1987, Vol. 22, No. 4, pp. 321–331.
- 6 Waldron K.J. and Kinzel G.L. The Relation Between Actuator Geometry and Mechanical Efficiency in Robots. Proc.4<sup>th</sup> CISM–IFTOMM Symposium on Theory and Practics of Manipulators, Poland, 1981, pp. 366–374.
- 7 Baigunchekov Zh. et al. Parallel Manipulator of a Class RoboMech. Lecture Notes in Electrical Engineering, 408, 2017, pp. 547–557.
- 8 Baigunchekov Zh., Mustafa A., Tarek S., Patel S., Utenov M. A Robomech Class Parallel Manipulator with Three Degrees of Freedom. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020, 3(1-105), pp.44-56.
- 9 Hunt K. H. Kinematic Geometry of Mechanisms. Clarendon Press, Oxford, 1998.
- 10 Kong X., Gosselin C.M. Type Synthesis of Parallel Mechanisms. Springer, Heidelberg, 2007.
- 11 Sunkari R. P., Schmidt L. C. Structural Synthesis of Planar Kinematic Chains by Adapting McKay–Type Algorithm. Mechanism and Machine Theory, 2006, 41, pp. 1021–1030.
- 12 Gogu G. Structural Synthesis of Parallel Robots. Part 3: Topologies with Planar Motion of the Moving Platform Springer, Dordrecht, 2010.
- 13 Leila Notash, Jingqiu Zhang. Structural Synthesis of Kinematic Chains and Mechanisms. Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Springer Netherlands, 2002, pp. 391–398.
- 14 Grabchenko I.P., et al. Introduction to Mechatronics. Harkov, HPI, 2017.
- 15 Artobolevskiy. I.I. Theory of Mechanisms and Machines. Moscow, "Nauka", 1988.
- 16 Sobol I.M., Statnikov R.B. Choice of Optimal Parameters in Problems with Many Criteria. Moscow, 1981.
- 17 Baigunchekov Z., Naurushev B., Zhumasheva Z., Mustafa A., Kairov R., Amanov B. Structurally Parametric Synthesis and Position Analysis of a RoboMech Class Parallel Manipulator with Two End-Effectors. IAENG International Journal of Applied Mathematics, 2020, 5(1-77), pp. 1-11.

## REFERENCES

- 1 Fu K.S., Gonzalez Z.C., Lee C.S.G. Robotics: Control, Sensing, Vision and Intelligence. McGraw–Hill Book Company, 1987.
- 2 Yoshikava T. Foundation of Robotics: Analysis and Control. MIT Press, 1990.
- 3 Gupta K.C. Mechanics and Control of Robots. Springer–Verlag, NY, 1997.
- 4 Spong M.W., Hutchinson S., Vidyasagar M. Robot Modeling and Control, John Wiley & Sons, Inc., Hobekon, N.J., 2006.
- 5 Song S.M., Lee J.K., Waldron K.J. Motion Study of Two – and Three–Dimensional Pantograph Mechanisms. Mechanism and Machine Theory, 1987, Vol. 22, No. 4, pp. 321–331.
- 6 Waldron K.J. and Kinzel G.L. The Relation Between Actuator Geometry and Mechanical Efficiency in Robots. Proc.4<sup>th</sup> CISM–IFToMM Symposium on Theory and Practics of Manipulators, Poland, 1981, pp. 366–374.
- 7 Baigunchekov Zh. et al. Parallel Manipulator of a Class RoboMech. Lecture Notes in Electrical Engineering, 408, 2017, pp. 547–557.
- 8 Baigunchekov Zh., Mustafa A., Tarek S., Patel S., Utenov M. A Robomech Class Parallel Manipulator with Three Degrees of Freedom. Eastern-European Journal of Enterprise Technologies, 2020, 3(1-105), pp.44-56.
- 9 Hunt K. H. Kinematic Geometry of Mechanisms. Clarendon Press, Oxford, 1998.
- 10 Kong X., Gosselin C.M. Type Synthesis of Parallel Mechanisms. Springer, Heidelberg, 2007.
- 11 Sunkari R. P., Schmidt L. C. Structural Synthesis of Planar Kinematic Chains by Adapting McKay–Type Algorithm. Mechanism and Machine Theory, 2006, 41, pp. 1021–1030.
- 12 Gogu G. Structural Synthesis of Parallel Robots. Part 3: Topologies with Planar Motion of the Moving Platform Springer, Dordrecht, 2010.
- 13 Leila Notash, Jingqiu Zhang. Structural Synthesis of Kinematic Chains and Mechanisms. Integrated Design and Manufacturing in Mechanical Engineering, Springer Netherlands, 2002, pp. 391–398.
- 14 Grabchenko I.P., et al. Introduction to Mechatronics. Harkov, HPI, 2017.
- 15 Artobolevskiy. I.I. Theory of Mechanisms and Machines. Moscow, "Nauka", 1988.
- 16 Sobol I.M., Statnikov R.B. Choice of Optimal Parameters in Problems with Many Criteria. Moscow, 1981.
- 17 Baigunchekov Z., Naurushev B., Zhumasheva Z., Mustafa A., Kairov R., Amanov B. Structurally Parametric Synthesis and Position Analysis of a RoboMech Class Parallel Manipulator with Two End-Effectors. IAENG International Journal of Applied Mathematics, 2020, 5(1-77), pp. 1-11.

**С. Ә. ТӨЛЕНОВ, Б. М. САГИТЖАНОВ, Е. Н. ЖОЛДАСОВ, А. М. ТОЛЕУШОВА,  
Н. Қ. ДОСМАҒАМБЕТ, З. А. РАХМАТУЛЛА, А. Т. ИСКАКОВА**

*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан*

## **ЕКІ СЫРҒЫТПАСЫ БАР ПАРАЛЛЕЛЬДІ ҚҰРЫЛЫМДЫҚ-ПАРАМЕТРЛІК СИНТЕЗ**

*Бұл жұмыста дайындамаларды беру және штамптау үшін суық штамптау өндірісінде қолдануға болатын екі сырғымалы параллельді манипулятордың (ПМ) құрылымдық-параметрлік синтезінің әдістері сипатталған. Екі сырғытпасы бар ПМ бір пассивті және бір теріс жабылатын*

кинематикалық тізбектерді (CLC) пайдаланып, екі сырғытпаны (кіріс және шығыс объектілері) қосу арқылы қалыптасады. Пассивті ZKZ сырғытпалардың қозғалыстарына геометриялық байланыс орнатпайды және оның бұйындарының геометриялық параметрлері өзгереді.

**Түйін сөздер:** параллель манипулятордың құрылымдық-параметрлік синтезі, Чебышев және квадраттық жуықтаулар.

**S. A. TOLENOV, B. M. SAGITZHANOV, E. N. ZHOLDASOV, A. M. TOLEUSHOVA,  
N. K. DOSMAGAMBET, Z. A. RAHMATULLA, A. T. ISKAKOVA**

*Al-Farabi Kazakh National University,  
Almaty, Kazakhstan*

### **STRUCTURAL- PARAMETRIC SYNTHESIS OF A PARALLEL MANIPULATOR WITH TWO SLIDERS**

*In this paper, the methods of structural – parametric synthesis of a parallel manipulator PM with two sliders, which can be used in a cold-stamping processing technological line for feeding and stamping the workpieces, are described. A PM with two sliders is reinforced by connecting two sliders (input and output objects) using one passive and one negative closing kinematic chain circuits (CKC). The passive CKC does not impose a geometric constraint connection on the movement of the sliders and the geometric parameters of its links are varied vary.*

**Keywords:** parallel manipulator structural-parametric synthesis, Chebyshev and quadratic approximations.



**S. T. TLEUBERDIN\*, Y. N. SEITKULOV**

*L.N.Gumilyov Eurasian National university,  
Astana, Kazakhstan  
sakentleuberdin@gmail.com, yerzhan.seitkulov@gmail.com*

## CLASSIFICATION OF CYBER THREATS FOR INTERNET OF THINGS

*Smart home consists of various Internet of things (IoT) devices. These IoT devices are designed to help and simplify people's lives. The technical progress of the IoT field is aimed at simplifying human life, thereby creating new cyber threats. Different scientific papers are mentioned that number of IoT devices is growing constantly by 15% per year. As a result, around 1.6 billion IoT devices will be used globally over the internet. It means that IoT devices will be accessed over internet by consumers. Nowadays, Internet is accessible easily by everyone, so they can afford freely the ecosystem of IoT devices at home. Within this development of IoT ecosystem, consumers can face serious problems of transmission and storage of information by IoT devices. These problems might be data theft from IoT devices, using such IoT devices for Denial of Service (DoS) attacks, user tracking and so on. Local cyber threats provide an opportunity for an attacker to gain access to a home network and take advantages of it. Global cyber threats are dangerous because IoT devices can be controlled remotely from anywhere in the world without the knowledge of the user. One of the risks is that the user's home network of IoT devices could be controlled by botnets to carry out cyber-attacks. The article describes and analyzes current threats to IoT smart home devices and provides examples of data collected and processed by smart devices. Collecting information about users through IoT devices is a novelty of this work.*

**Keywords:** *IoT devices, smart home, IoT cyber threats, security of IoT devices, data security, classification of cyberthreats; security of smart devices.*

**Introduction.** The Internet of Things (IoT) is a unified network of devices that interact with each other and with the outside world to transmit and process data. IoT devices can have installed software and built-in sensors for transmitting information to the global network or for interacting with devices in a local network [1]. The Internet of Things system helps to simplify everyday life tasks, thereby providing dynamism and convenience for people's lives. For example, IoT devices as part of a smart home help turn off the lights in the absence of a person in the room, the temperature in the house may vary depending on the parameters set by the owner of the house. Additionally, home Internet of Things devices can interact with each other and provide various services to users. For example, a smart assistant can play a song from the owner's audio library or help launch certain actions on other IoT devices based on everyday tasks stored in the smart assistant's memory.

**Research methodology.** Infocommunication between IoT devices can be defined as an ecosystem that consists of several important components. These IoT devices interact with each other and create an ecosystem to provide certain services to users.

Description of parts of the IoT ecosystem:

- An IoT thing is a physical object that can be detected and combined into a local network. IoT things necessarily function to transfer information over a local network among themselves. Additionally, they can transfer data to cloud services to process this data. More

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [sakentleuberdin@gmail.com](mailto:sakentleuberdin@gmail.com)

multifunctional things perform additional tasks, such as collecting information, computing based on installed software, interacting with cloud services to perform various functions, visualizing the map and storing it in memory to solve problems, etc. [2].

- Decision-making is a decision-making process based on data that is transmitted from IoT devices. Multifunctional IoT devices are capable of storing big data, can also process and analyze it. The most necessary thing for this process is the availability of the necessary information, since decisions will be made on the basis of the information provided [3]. This process is very important for the IoT ecosystem, because the results of the decisions made contribute to the creation of new actions for IoT devices. It is important to note that information analysis for decision-making can function locally or through interaction with cloud applications.

- A sensor is an important object of the IoT ecosystem that helps to function in the environment. Sensors are easily installed in physical objects as they are very flexible and small in size [4]. Sensors can be divided into levels such as physical and digital. At the physical level, sensors can detect various indicators and diagnose changes in the environment. At the digital level, sensors collect all the necessary data in a local network. Thus, sensors create data obtained from the environment for subsequent tasks of the IoT ecosystem. Such as sensors for measuring temperature and pressure, accelerometers and acoustic sensors. Sensors are extremely necessary in the IoT ecosystem of a smart home for collecting and processing information [5].

- Actuators are objects that perform the function of signal conversion to control the mechanism. Thus, the mechanism operates in the reverse direction from the sensor [6]. As an example, we can take the mechanism of operation of smart lamps, where the signal coming from the sensor is used to adjust the brightness level of the lamp.

- One part of the IoT ecosystem is embedded systems. This means that IoT devices are designed with installed sensors and operating mechanisms that provide the ability to connect to a local network, run software and may have a memory capacity for data storage. Also, such IoT systems are created on certain processors, which will provide the opportunity to function and store data independently. For example, smart watches, vacuum cleaners, virtual assistants, refrigerators, etc. They belong to embedded systems because they can work both independently and interact with other IoT devices [3].

- Communication is an integral part of the IoT ecosystem for data transmission and for interaction in a local network. The types of communication in IoT devices vary greatly depending on the functions and resource requirements [7]. Thus, the choice of a communication protocol for the IoT ecosystem depends on the goals and objectives of use. In practice, IoT ecosystems use different communication protocols using a common router to provide IoT device compatibility. Communication between IoT devices relies on the ability to transmit and receive data in an orderly manner. In IoT ecosystems, communication can be wireless and wired. In practice, wireless communication is often used in IoT ecosystems due to the flexibility and cost-effectiveness of this technology. Wireless communication has different properties such as signal range, bandwidth, security, quality of service, etc. Also, wireless technologies can be classified as short-range contactless communication, personal network, local area network, regional network and global network [8].

**Practical results.** The concept of a smart home includes a stack of technologies that help to save human time and resources lost on household chores. The complex of technologies used facilitates the interaction of home IoT devices and helps to perform various actions without human intervention. For example, automatic switching on and off of lights in a room in the absence of a person, automatic regulation of room temperature, smart notification when theft attempt is detected, automatic water shutdown in case of leakage and so on. Considering the constant development of smart home concepts, new software solutions and IoT devices for home use are being actively developed [8].

With the active growth of IoT devices in the smart home concept, it is necessary to pay special attention to cyber threats to the IoT ecosystem. Smart devices can transmit, process and store confidential information about their owners. Smart IoT devices may be vulnerable to various attack vectors. Thus, the confidential information of the owner of these devices may end up in the hands of cybercriminals [9].

It is necessary to visualize the topology of the local network used to analyze IoT cyber threats. In practice, wireless communication is very often used to transmit data in a local network [10]. Such wireless technologies are most often Wi-Fi, Bluetooth and infrared channel (IR). Also, devices are often used to control signals within the network, such as a smartphone, router and cloud server. In a typical topology, a smartphone is used to manage IoT devices and to change device settings, a router to automate the process of managing devices on a local network, and a cloud server in cases of remote control of device settings. It is necessary to consider the levels for studying IoT threats. Cyber threats can be at the level of a cloud service, the operating system of a smartphone and router, and at the level of wireless communication.

Table 1 shows the components of the smart home It ecosystem with a description of the data that IoT devices transmit on the local network. Also, information is provided about the communication methods of these smart devices and describes how to identify the user and get information about the user.

**Table 1** – Smart home components

IoT devices	Transmitted data	Communication method for data transmission	User recognition and user information acquisition
1	2	3	4
Smart light bulbs and table lamps	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufacturer</li> <li>- device model</li> <li>- device ID</li> <li>- firmware version</li> <li>- Name of the item</li> <li>- location by house</li> <li>- power consumption</li> <li>- current voltage in the network</li> <li>- the script for starting the device</li> <li>- device operation schedule</li> </ul>	Commands for device management can be executed locally or remotely. Accordingly, Wi-Fi connection is supported in many manufacturers. Data from these devices is transmitted throughout the local network.	With the help of data, it is possible to determine the presence or absence of tenants in the apartment, the time zone at which the device operates [11].

1	2	3	4
Smart Floor Scales	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufacturer</li> <li>- device model</li> <li>- device ID</li> <li>- user profile</li> <li>- health and weight tracking with data recording function</li> </ul>	Smart scales work on wireless technologies like Wi-Fi and Bluetooth. User data is transmitted to the controlling smartphone.	Information about the user's health status [11].
Smart Sockets	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufacturer</li> <li>- device model</li> <li>- device ID</li> <li>- firmware version</li> <li>- Name of the item</li> <li>- location by house</li> <li>- power consumption-</li> <li>- current voltage in the network</li> <li>- the script for starting the device</li> <li>- status of the current state</li> </ul>	Smart sockets accept commands over a Wi-Fi network from a router (a single managed gateway) or a smartphone. Data from these devices is transmitted throughout the local network.	When finding the power consumption status, it is possible to determine the type of charger that is connected to the network, as well as when analyzing groups of outlets to determine the number of connected devices in the apartment [11].
Climate control items	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufacturer</li> <li>- device model</li> <li>- device ID</li> <li>- location by house</li> <li>- power consumption</li> <li>- the script for starting the device</li> <li>- status of the current state</li> <li>- room temperature</li> <li>- humidity level</li> </ul>	Such items receive commands over a Wi-Fi network from a router (a single managed gateway) or a controlling smartphone. Data from these devices is transmitted throughout the local network.	Information is transmitted about the locations of devices, the level of pollution inside and outside the room. It is possible to determine the user's climatic preferences and detect the area of residence [12].
Teapot	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufacturer</li> <li>- device model</li> <li>- device ID</li> <li>- power consumption</li> <li>- status of the current state</li> <li>- water temperature</li> </ul>	The smart kettle receives commands over the Wi-Fi network from the gateway or the controlling smartphone. The initial settings are synchronized in the smartphone.	When processing information, you can find out the frequency of the kettle and thereby determine the presence of a person in the apartment [13].
Iron	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufacturer</li> <li>- device model</li> <li>- device ID</li> <li>- power consumption</li> <li>- location</li> <li>- temperature indicator</li> <li>- status of the current state</li> </ul>	A smart iron can transmit information over a Wi-Fi network and receive commands from a gateway or a controlling smartphone.	When processing information, you can find out the location of the device and remotely control the modes of the iron for the purpose of arson [13].

1	2	3	4
Vacuum cleaner	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufacturer</li> <li>- device model</li> <li>- device ID</li> <li>- power consumption</li> <li>- location</li> <li>- status of the current state</li> <li>- a map showing the items located in the apartment</li> <li>- working OS and software used</li> <li>- recording of the apartment plan</li> </ul>	<p>The vacuum cleaner can be controlled remotely via a smartphone or via a control gateway. The Wi-Fi network is used to receive commands from the user and to update the software from the manufacturer.</p>	<p>A smart vacuum cleaner uses lidars to avoid colliding with objects inside the house and store this data in memory. Accordingly, a person's conversation may be stored in the vacuum cleaner's memory due to the vibration of the voice[14]. Also, the vacuum cleaner uses built-in sensors indicating the distance from objects to draw up a plan of the room and the objects located. Thus, with remote control of the vacuum cleaner, you can find out the presence or absence of people in the apartment [13].</p>
Washing machine	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufacturer</li> <li>- device model</li> <li>- device ID</li> <li>- power consumption</li> <li>- status of the current state</li> <li>- audio recording of the owner's voice</li> <li>- used software</li> </ul>	<p>The washing machine can be controlled remotely via a smartphone or via a control gateway. The Wi-Fi network is used to receive commands from the owner.</p>	<p>Modern smart washing machines have the function of recording the owner's voice to control the washing modes. Thus, it is possible to identify the owner's voice when hacking the device [12].</p>
Smart TV	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufacturer</li> <li>- device model</li> <li>- device ID</li> <li>- power consumption</li> <li>- location and IP address</li> <li>- status of the current state</li> <li>- working OS and software used</li> <li>- User data, subscriptions and payment information</li> <li>- Access to social accounts</li> <li>- User speech recognition for management</li> </ul>	<p>A smart TV can be controlled remotely via a smartphone or via a control gateway. The Wi-Fi network is used to receive commands from the user and to update the software from the manufacturer.</p>	<p>When hacking a smart TV, you can get stored audio information, as well as perform remote surveillance. Also, you can get a personalized user content [12].</p>

1	2	3	4
Fridge	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufacturer</li> <li>- device model</li> <li>- device ID</li> <li>- power consumption</li> <li>- status of the current state</li> <li>- Used software</li> <li>- information about stored products in the refrigerator</li> </ul>	A smart refrigerator can be controlled remotely via a smartphone or via a control gateway. The Wi-Fi network is used to receive commands from the user and to update the software from the manufacturer.	When processing information, it is possible to obtain information about stored human products, thereby finding out the material status of the user and with a detailed analysis, it is possible to determine the state of human health. Also, with certain refrigerator functions enabled, you can find out the absence of the owner[13].
Voice Assistant	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Manufacturer</li> <li>- device model</li> <li>- device ID</li> <li>- power consumption</li> <li>- location and IP address</li> <li>- status of the current state</li> <li>- working OS and software used</li> <li>- User data, subscriptions and payment information</li> <li>- Access to social accounts</li> <li>- User speech recognition for management</li> <li>- centralized management of It devices</li> </ul>	<p>The voice assistant can be controlled remotely via the user's smartphone. The Wi-Fi network is used to receive commands from the user and to update the software from the manufacturer.</p> <p>The voice assistant controls other IoT devices via Wi-Fi and Bluetooth and acts as a gateway for device management.</p>	When you get access to the voice assistant, you can fully control IoT devices of the smart home. Accordingly, we get the location of all devices in the local network, a map of the premises, access to personal data and subscriptions, an archive of user requests and commands[12]. Also, you can perform surveillance on the user and record audio conversations.

**Classification of IoT device threats.** To describe the threats associated with the IoT ecosystem of a smart home, it is necessary to understand the main assets that need protection[8]. The assets that need to be protected are listed in table 2.

*Table 2* – Assets requiring protection from cyber threats

Group	Assets	Description
1	2	3
IoT devices	Sensors	Sensors are used to detect and measure parameters in the environment. The actuators perform the function of transferring data to other IoT devices



1	2	3
	Software and operating system	Ensures the operation of the application on an IoT device.
	Embedded systems	Multifunctional devices that can process data and run applications locally, write data to memory.
Infrastructure	Gateway	A component of the IoT ecosystem for managing and interacting with all connected devices on a local network.
	Power supply	Provides electricity for IoT devices on the network.
	Smartphone	The user's device for managing and configuring all IoT smart home devices
Link	Network	There are different types of networks with different characteristics. The most used type of network for a smart home is a local area network (LAN).
	Protocols	They are used to create a common language of communication between devices. Depending on IoT devices, there are different types of communication protocols that can be wired and wireless.
Information	Data	User data can be stored locally on devices or in a cloud server. Also, there is data that is transmitted in the local network between IoT devices.

After determining the assets that need to be protected, it is necessary to identify cyber threats to the IoT devices of the smart home. Thus, cyber threats can be divided by the type of impact and by the type of network topology on IoT devices. According to the type of topology, it can be divided into types such as local, global and vulnerable software [3]. Local cyber threats are described as the actions of a hacker who needs to be near a smart home to intercept data that is transmitted wirelessly. Thus, an attacker can hack the user's Wi-Fi network or the Bluetooth protocol to gain access to IoT devices. Global cyber threats target cloud servers of the manufacturer of IoT devices that store and process user data. Manufacturers of smart IoT devices are the main target of attackers because it makes it possible to obtain customer data from around the world and hackers can also influence IoT devices globally. For example, they will be able to disable the update database for smart devices or

introduce malicious code through the update function. The latter type of cyber threats is associated with vulnerabilities in the software and OS of smart devices, smartphones, routers, etc. Vulnerabilities allow an attacker to gain remote or local access to IoT devices, read data records and control these smart devices.

**Practical experiment.** I would like to discuss an experiment that have been deployed to show practical IoT attacks to IoT devices. I decided to use a software to simulate IoT home devices. Simulated IoT devices connected to internet in order to collect various type of attacks.

Technically, the host is connected to Internet and it has a public IP address. I open 21 and 22 ports for Telnet and SSH services. In this case, it is allowed to login with a default password such as “root:root” for both services. I created a device and named it as “home-bedroom”. This is simulated IoT device that is a part of the simulated home network. Once attacker will obtain session on the system, it gets root privileges in order to download malicious software and to expand network scanning. I propose that attackers gain accesses to the simulated IoT device, finding vulnerabilities by scanning the home network and executing malicious files. It is a common thread for IoT home devices.

I present the typical model of IoT home environment that is connected to Internet in figure 1. It is very simple and common way to have IoT home network. Commonly, all IoT devices are connected to the internet in order to communicate with an owner.

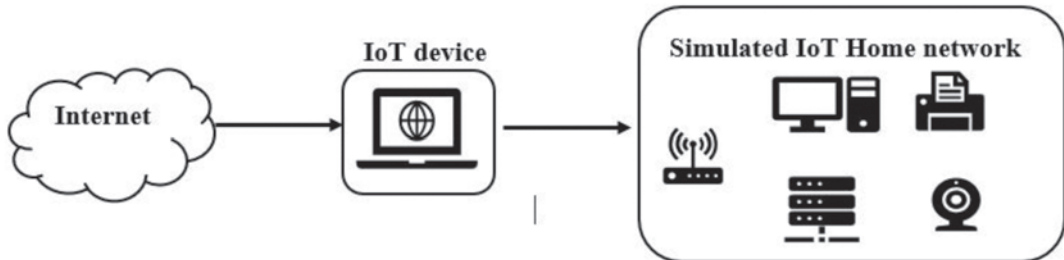


Figure 1 – typical model of IoT home network

I described tools and programs that simulates IoT environment in table 3.

Table 3 – Components of simulated IoT environment

Components	Description
BevyWise software	Simulation of IoT devices
Cowrie	Virtual environment for python
Oracle VM Virtual Box	It is used to deploy virtual machines and configure connections between them.
Lenovo Thinkpad laptop	It is used to run and manage operations

I collected attack data from various hosts that are connected to my simulated IoT device. I figure out that there are main four phases that can be observed from the attacked data. It is obviously that attackers scan public IP addresses every 15 minutes for open ports, executing

brute force attacks to find valid accounts and then gaining access to the system. The main observable phases for this experiment are described in table 4.

**Table 4** – Four main observable attack phases

Attack phase	Description
Reconnaissance	Scanning massively public IP addresses to find out open ports
Intrusion	Executing brute force attack based on dictionary to find valid accounts
Persistence	Using a valid account to have access for IoT device. Installing executable files to deploy various services on the system
Command and Control	Using tools to control IoT device remotely. Using this system and its resources to attack other systems.

**Conclusion:** There are cyber threats associated with smart home IoT devices that can affect human security based on the above information. Thus, smart home IoT devices can carry cyber threats as they collect and process sensitive user data. When collecting and analyzing data transmitted between IoT devices, it is possible to create a profile of a smart home user, thereby creating a cyber threat to the user. Also, it should be noted that the more IoT devices in the network, the greater the risk of identifying a smart home user and the greater the chances of successful hacking of the home network. To minimize the risks of hacking and leakage of sensitive data, components, smart home assets and types of cyber threats for IoT devices were provided. Additionally, examples of scenario attacks on IoT devices with a degree of risk of attacks are presented. All this information shows the current threats of smart home IoT devices that exist and require special attention for further study. I provided the experiment results that showed that IoT device that is connected to Internet will be scanned within 15 minutes by attackers. I described four main phases that I figure out during this experiment that is related to IoT home security. From this experiment, I obtained information that is related to attacker's geolocation, behavior and tools that are used to attack the simulated IoT device.

## REFERENCES

- 1 Aldhaferi, S., Alghazzawi, D., Cheng, L., Barnawi, A., & Alzahrani, B. A. (2020). Artificial Immune Systems approaches to secure the internet of things: A systematic review of the literature and recommendations for future research. *Journal of Network and Computer Applications*, 157, 102537
- 2 Abu Al-Haija, Q., & Zein-Sabatto, S. (2020). An efficient deep-learning-based detection and classification system for cyber-attacks in IoT communication networks. *Electronics*, 9(12), 2152.
- 3 Almiani, M., AbuGhazleh, A., Al-Rahayfeh, A., Atiewi, S., & Razaque, A. (2020). Deep recurrent neural network for IoT intrusion detection system. *Simulation Modelling Practice and Theory*, 101, 102031.
- 4 Babun, L., Denney, K., Celik, Z. B., McDaniel, P., & Uluagac, A. S. (2021). A survey on IoT platforms: Communication, security, and privacy perspectives. *Computer Networks*, 192, 108040.
- 5 Chmiel, M., Korona, M., Koziol, F., Szczypiorski, K., & Rawski, M. (2021). Discussion on iot security recommendations against the state-of-the-art solutions. *Electronics*, 10(15), 1814.

6 Ghimire, B., & Rawat, D. B. (2022). Recent advances on federated learning for cybersecurity and cybersecurity for federated learning for internet of things. IEEE Internet of Things Journal.

7 Karale, A. (2021). The challenges of IoT addressing security, ethics, privacy, and laws. Internet of Things, 15, 100420.

8 Koohang, A., Sargent, C. S., Nord, J. H., & Paliszkievicz, J. (2022). Internet of Things (IoT): From awareness to continued use. International Journal of Information Management, 62, 102442.

9 Li, Y., Xu, Y., Liu, Z., Hou, H., Zheng, Y., Xin, Y., ... & Cui, L. (2020). Robust detection for network intrusion of industrial IoT based on multi-CNN fusion. Measurement, 154, 107450.

10 Mahbub, M. (2020). Progressive researches on IoT security: An exhaustive analysis from the perspective of protocols, vulnerabilities, and preemptive architectonics. Journal of Network and Computer Applications, 168, 102761.

11 Obaidat, M. A., Obeidat, S., Holst, J., Al Hayajneh, A., & Brown, J. (2020). A comprehensive and systematic survey on the internet of things: security and privacy challenges, security frameworks, enabling technologies, threats, vulnerabilities and countermeasures. Computers, 9(2), 44.

12 Sarica, A. K., & Angin, P. (2020). Explainable security in SDN-based IoT networks. Sensors, 20(24), 7326.

13 Sami, S., Dai, Y., Tan, S. R. X., Roy, N., & Han, J. (2020, November). Spying with your robot vacuum cleaner: eavesdropping via lidar sensors. In Proceedings of the 18th Conference on Embedded Networked Sensor Systems (pp. 354-367).

14 Larriva-Novo, X., Villagrà, V. A., Vega-Barbas, M., Rivera, D., & Sanz Rodrigo, M. (2021). An IoT-focused intrusion detection system approach based on preprocessing characterization for cybersecurity datasets. Sensors, 21(2), 656.

15 Viejo, A., & Sánchez, D. (2020). Secure monitoring in IoT-based services via fog orchestration. Future Generation Computer Systems, 107, 443-457.

### ***С. Т. ТЛЕУБЕРДИН, Е. Н. СЕЙТКУЛОВ***

*Л.Н. Гумилев атындағы Евразиялық ұлттық университеті,  
Астана қ., Қазақстан*

### **ЗАТТАР ИНТЕРНЕТИНЕ АРНАЛҒАН КИБЕРҚАУШТЕРДІҢ КЛАССИФИКАЦИЯСЫ**

*Ақылды үйдегі IoT құрылғылары адамдардың өмірін жеңілдетуге және көмектесуге арналған. IoT саласындағы техникалық прогресс адам өмірін жеңілдетуге байланысты жаңа киберқауіптерді тудырып отыр. Жергілікті киберқауіптерлер шабуылдаушыға жергілікті үй желісіне қол жеткізуді және өзіне пайда алу мүмкіндігін туғызады. Жаһандық киберқауіптер өте қауіпті, себебі пайдаланушының IoT құрылғыларын хабарынсыз әлемнің кез келген нүктесінен қашықтан басқаруға болады. Тәуекелдің бірі, бұл пайдаланушының IoT құрылғыларынан тұратын үй желісі ботнеттермен басқарылып және басқа кибершабуылдарға қолдануы мүмкін. Осы мақалада ақылды үйдегі IoT құрылғыларына қатысты өзекті қауіптер сипатталған және смарт құрылғылар жинайтын және өңдейтін деректер мысалдары берілген. IoT құрылғылары арқылы пайдаланушылар туралы ақпарат жинау – бұл жұмыстың жаңалығы.*

**Түйін сөздер:** *IoT құрылғылары, ақылды үй, IoT киберқауіптері, IoT құрылғыларының қауіпсіздігі, деректер қауіпсіздігі, киберқауіптердің классификациясы.*

**С. Т. ТЛЕУБЕРДИН, Е. Н. СЕЙТКУЛОВ**

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

**КЛАССИФИКАЦИЯ КИБЕРУГРОЗ ДЛЯ ИНТЕРНЕТА ВЕЩЕЙ**

*IoT устройства умного дома созданы помочь и упростить жизнь людям. Технический прогресс IoT области нацелен на упрощение жизни человека, тем самым создавая новые киберугрозы. Локальные киберугрозы предоставляют возможность злоумышленнику получить доступ в домашнюю сеть и извлекать для себя выгоду. Глобальные киберугрозы опасны тем, что IoT устройства могут управляться удаленно из любой точки мира без ведома пользователя. Одним из рисков является то, что домашняя сеть пользователя, состоящая из IoT устройств, может быть захвачена ботнетами для проведения кибератак. В данной статье описаны и проанализированы актуальные угрозы для IoT устройства умного дома и приведены примеры о данных, которые собирают и обрабатывают умные устройства. Сбор информации о пользователях через IoT устройства является новизной данной работы.*

**Ключевые слова:** *IoT устройства, умный дом, киберугрозы IoT; безопасность IoT устройств; безопасность данных; классификация киберугроз.*

**Н. А. ТОЙГАНБАЕВА<sup>1\*</sup>, Ж. Х. ЖУНУСОВА<sup>1</sup>, А. ПРОВАТА<sup>2</sup>,  
Г. А. ТЮЛЕПБЕРДИНОВА<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Наногылым және Нанотехнология институты, Афина қ., Греция

E-mail: [bodiniz@mail.ru](mailto:bodinaz@mail.ru), [tyulepberdinova@gmail.com](mailto:tyulepberdinova@gmail.com),

[a.provata@inn.demokritos.gr](mailto:a.provata@inn.demokritos.gr), [zhunussova777@gmail.com](mailto:zhunussova777@gmail.com)

## **ТЕРЕҢ ОҚЫТУ МОДЕЛЬДЕРІ НЕГІЗІНДЕ ҚАЗАҚ-ОРЫС ТІЛІНДЕГІ ОФФЛАЙН ҚОЛЖАЗБА МӘТІНДЕРІН ТАҢУ**

Қолжазба жазбаларының цифрланған мәтіні көптеген компаниялардың бизнес-процестерін автоматтандыруға мүмкіндік береді және адамның жұмысын жеңілдетеді. Мақалада тереңдетілген оқыту модельдерін қолдана отырып, орыс және қазақ тілдеріндегі жазбаша қолжазбаны тану қарастырылады. Әр адамның қолжазбасы ерекше және қолжазба мәтінінің жалпы үлгілерін жасау мүмкіндігі жоқ болғандықтан мәтінді офлайн тану есебі онлайн тану есебіне қарағанда күрделі болып саналады. Жұмыста кириллица графикасына қатысты қазақ-орыс тілдеріндегі қолжазбаны тану модельдерін жасауда терең оқытудың әртүрлі тәсілдері қолданылады. Терең оқытудың сәтті маңызды элементі – бұл нейрондық желі модельдерін құруды және оларды шығару үшін орындауды жеңілдететін деректердің, есептеулердің, бағдарламалық платформалардың және жұмыс уақытының қол жетімділігі. Оқытудың әртүрлі тәсілдері мен әдістерін талдау мен салыстырудың жылдам, сандық және әділ құралдарын ұсынатын, бәсекеге қабілетті, қарқынды дамып келе жатқан сала терең оқыту ұғымдары талқыланды. *Abdallah, Bluche, Flor* және *PUIGSERVER* сияқты танымал терең оқыту модельдеріне шолу жасалды және эксперименттер нәтижелері гистограмма негізінде талданды. Эксперименттер *Kazakh Offline Handwritten Text Dataset (КОНТД)* деп аталатын қазақ тіліндегі оффлайн қолжазба мәтіндерінің үлкен деректер қоры негізінде жасалды. Қазақ тілінде қолжазба деректерді жинау үшін арнайы құрылған телеграм бот құрылды. Осы телеграм-бот арқылы енгізілген ақпаратын тексеріп, жауаптарды түзету құралы нейрондық желі негізінде жасалды.

**Түйін сөздер:** қолжазба, терең оқыту, нейронды желі, КОНТД, деректер жиыны.

**Кіріспе.** Қолмен жазылған мәтінді тану (ағылш. Handwriting recognition, HWR немесе Handwritten Text Recognition, HTR) – бұл қағаз құжаттар, суреттер және сенсорлық экрандар және басқа құралдар көздерден түсінікті қолжазба ақпаратын алу және тану қабілеті. Қолмен жазылған мәтінді оффлайн тану – кірісі екі өлшемді кескін, шығысы таңбалар тізбегі болып табылатын кескіндегі әріптерді немесе сөздерді сандық мәтінге түрлендіру әдісі. Қазіргі уақытта қол жетімді қолжазбаны тану бағдарламалық шешімдерін онлайн және оффлайн тану деп екі негізгі бөлікке бөлуге болады: Онлайн тану әртүрлі құрылғылардың экранында арнайы құрылғылармен (стилустармен) жазылған мәтінді тануды қамтиды. Онлайн тану мәселесі Microsoft, Evernote, Google және т.б. сияқты көптеген өнімдерде сәтті шешілді және Windows Vista, Windows 7 және Windows Mobile операциялық жүйелеріне енгізілген. Заманауи компоненттер мен икемді құрылыммен үйлестірілген Google-дің қолжазбаны тану жүйесі 97 тілді қолдайды және Android құрылғыларына енгізу әдісі ретінде

\* E-mail корреспондирующего автора: [bodiniz@mail.ru](mailto:bodinaz@mail.ru)



қол жетімді [1]. Оффлайн қолжазбаны тану суреттегі мәтінді компьютерлік және мәтінді өңдеу қосымшаларында қолдануға болатын әріптік кодтарға автоматты түрде түрлендіруді қамтиды. Өз кезегінде, қолжазба мәтінін оффлайн тану мәселесі әлі толық шешілген жоқ. Соңғы 10 жылда орын алған баспа және қолжазба мәтіндерін тану саласындағы ілгерілеу байқалады. Есептеулердің күрделілігіне қарамастан, кейбір өте күрделі есептеулерді машиналық оқыту және терең нейрондық желілер үшін жасалған құрылымдар арқылы шешуге болады. Кириллица негіздегі қазақ-орыс тіліндегі қолжазбаларды тану мәселесі әлі де толық зерттелмеген. Сондықтан, қазақ тіліндегі оффлайн қолжазба мәтіндерін тану алгоритмдерін жасау өте маңызды және осы салада зерттеулер жүргізу қажет, яғни мақала тақырыбы өзекті.

Жұмыстың мақсаты орыс және қазақ тілдеріндегі қолжазбаларды тану және өңдеу міндетін шешу үшін терең оқытудың заманауи әдістерін пайдалана отырып бағдарламалық қамтамасыз етуді әзірлеу болып табылады. Терең және машиналық оқыту арқылы қолжазба мәтінін танумен айналысатын зерттеушілердің эксперименттеріне негіз ретінде қолжазба деректер жиыны (датасет) қажет. Ағылшын тілінде IAM, EMNIST [2,3], қытай тілінде HIT-MW [4], испан тілінде RODRIGO [5], орыс тілінде НКР [6] қолжазба деректер жиыны бар. Жақында қазақ тіліндегі оффлайн қолжазба мәтіндерінің деректер қоры Kazakh Offline Handwritten Text Dataset (КОНТД) құрылды [7], құрамында шамамен 922010 таңба және 140335 сегменттелген кескін бар. Осы КОНТД қолжазба деректер жиыны негізінде нейрондық желісінің архитектурасын пайдаланып, қазақ тілінде қолжазбаны тану қарастырылады.

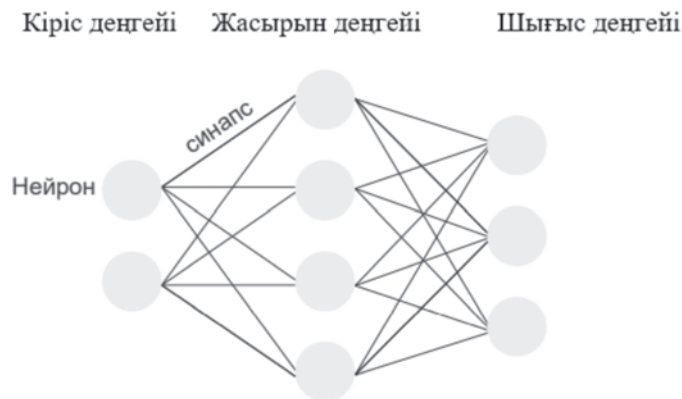
**Зерттеу әдістері.** Терең конволюциялық нейрондық желілердің өркендеуімен қолжазбаны тану мәселесінің жаңа шешімдері ұсынылды. Терең нейрондық желілер тілдік таңбалардың/әріптердің белгілі бір ерекшеліктерін автоматты түрде зерттей алады, осылайша қолжазбаларды тану дәлдігін жоғары деңгейге көтеруге болады.

Терең оқыту – бұл «терең» нейрондық желілерді қолданатын машиналық оқыту әдістерінің жалпы термині. Бүгінгі таңда терең оқыту машиналық оқытудың ең көрнекті бағыттарының бірі болып табылуына компьютерлік көру, тілді өңдеу, ойын ойнау, шешім қабылдау және модельдеу сияқты салалардағы жетістіктері дәлел болады. Жасанды интеллекттің бір саласы – машиналық оқыту ІТ саласында маңызды орын алады. Біз күнделікті өмірде пайдаланатын сандық деректердің көлемі күн сайын артып келеді, осыған байланысты технологиялық прогресті одан әрі дамыту үшін смарт-деректерді автоматты талдау қажеттілігі туындады. Машиналық оқытудың белсенді дамуы жасанды нейрондық желілердің кең қолданысқа ие болуына әкелді. Адам миының биологиялық құрылымына негізделген нейронды желілер өзінің жоғарғы деңгейде есептеу мүмкіндігімен басқа оқыту алгоритмдерінен бірнеше есе тиімді болып есептеледі [8].

Нейронды желілерді қолданудың басты артықшылығы көлемді немесе айқын емес мәліметтерден ақпараттарды терең оқыту әдістері арқылы алу. Оқытылған нейронды желі дайындалған деректер санаты үшін «сарапшы» рөлін атқара алады. Жасанды нейрондық желілердің ең жарқын және маңызды түрлерінің бірі – үйірткілі (сверточная) нейронды желі (Convolution Neural Networks CNN). Үйірткілі нейронды желілерді қолданатын алгоритмдер әртүрлі бұрмалауға, атап айтсақ, камераны бұру, суреттегі жарықтың біркелкі болмауы, көлденең немесе тік ығысулар және т.б. инвариантты

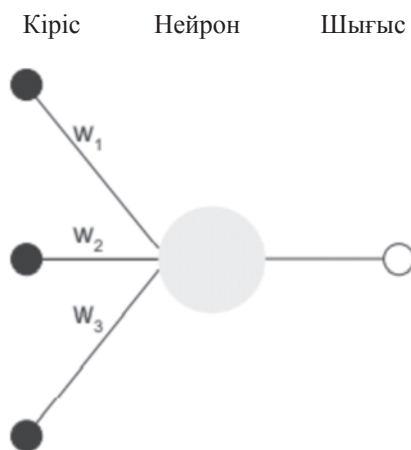
болып келеді. Үйірткілі нейронды желілер жадыда көп орынды қажет етпейді, сонымен қатар, қолданылатын көрсеткіштердің санын азайту арқылы оқу жылдамдығын арттыруға болады. Үйірткілі нейронды желілерін тану есептеріне қолданғанда басқа нейрондық желілердің өнімділігінен бірнеше есе артады. Үйірткілі нейронды желілер оптикалық таңбаларды тану (OCR – Optical Character Recognition) жүйелерінде көптеген жетістіктерге қол жеткізуге мүмкіндік берді. Суреттегі таңбаны тану – кіріс кескініндегі әр таңбаға алдын-ала анықталған класты сәйкес қоятын үдеріс. Қазіргі таңда әртүрлі тану қосымшаларына сұраныс артқанына байланысты компьютерді «оқуға» үйретудің шұғыл қажеттілігі туындады.

Терең оқыту – бұл оқыту үшін нейрондық желілерді қолданатын машиналық оқытудың бір түрі. Жасанды нейрондық желі (немесе жай нейрондық желі) - бұл біздің миымыз жұмыс істейтін принциптер бойынша жұмыс істейтін бағдарламалық жасақтама. Біздің биологиялық жүйке жүйесін басқару синапстар деп аталатын арналар арқылы бір-бірімен өзара әрекеттесетін нейрондар арқылы жүзеге асырылады. Нейрондық желіде өзара байланысты жасанды нейрондар желіні оқыту үшін адам миының нейрондарының жұмысын модельдейді. Оқу процесінде қажетті нәтижеге жету үшін белгілі бір нейрондар арасындағы байланыс күшейтіледі. Келесі диаграммада үш деңгейлі нейрондық желі көрсетілген (Сурет 1). Әр шеңбер нейронды білдіреді, ал олардың арасындағы сызықтар синапстарды модельдейді.



Сурет 1 – Үш деңгейлі нейрондық желі

Осы суретте толық байланысқан желі көрсетілген – берілген деңгейдегі әрбір нейрон келесі деңгей нейрондарымен байланысады. Нейрондық желілерді оқыту итеративті принцип бойынша жүреді. Әрбір итерация дәуір (epoch) деп аталады. Оқу жиынтығындағы үлгі бір рет өңделеді және «дұрыс» дәуірлер саны жоқ. Бұл гиперкөрсеткішті оқу деректеріне және моделіне байланысты баптау қажет болды. Желінің кіріс мәліметтері ретінде оқу үлгілерінің белгілері алынады. Бір деңгейлер алдыңғы деңгейлердің шығысы бойынша жаңа белгілерді зерттесе, басқалары осы белгілерді болжам жасау үшін қолданады. Келесі суретте барлық нейрондарға (немесе олардың бөліктеріне) берілетін үш кірістен, бір шығыстан тұратын нейрон бейнеленген (Сурет 2):



Сурет 2 – Үш кірістен, бір шығыстан тұратын нейрон

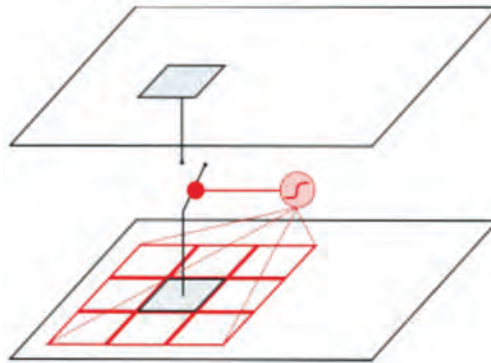
Мұнда  $w_1$ ,  $w_2$  және  $w_3$  мәндері салмақ деп аталады. Жаңадан оқылатын модельдерде бұл мәндер модель арқылы кездейсоқ қосылады. Оқыту барысында желі болжамды модель белгілері мен нақты үлгі белгілері арасындағы қателіктердің үлесін азайтуға тырысады. Қателіктердің үлесі шығындар деп аталады, ал шығындар мөлшерін анықтау формуласы шығындар функциясы деп аталады. Оқу процесінде желі әр нейронның жалпы шығындарға әкелетін мөлшерін анықтайды, содан кейін ол деңгейлерден кері бағытта өтеді және шығындарды азайтуға тырысып, салмақты реттейді. Бұл әдіс кері таралу деп аталады. Салмақтарды онтайландыру градиентті түсу деп аталатын үдерісте біртіндеп іске асады [9].

Нейрондық желілер қолжазба мен сөйлеуді тануда заманауи жүйелерінің негізгі құрамдас бөлігі болып отыр. Дербес жағдайда, қолжазба мен сөйлеуді тануда ең тиімді болып танылған рекурентті нейронды желілер.

Қолжазба адамдарға ақпарат тарату үшін қолданылады. Әрі қарай талдау үшін осы ақпаратқа қол жеткізу үшін бетті оптикалық сканерлеп, машина танитын пішінге түрлендіру керек. Осы орайда, зерттеушілер терең оқытуға негізделген объектілерді анықтау архитектурасын қолдана отырып, ағылшын тіліндегі қолжазба сөздерін тану моделін ұсынған [10]. Бұл модель авторлардың жазу стиліне тәуелді болмай жақсы жұмыс істейді.

Қазақ тіліндегі қолжазбаларды тану үшін Theodore Bluche and Ronaldo Messina ұсынған [11] екі бағытты LSTM (long short-term memory) декодеріне негізделген модельді қолданамыз. Модель авторлары IAM және Rimes дерекқорларындағы жолдар мен абзацтар деңгейіндегі ең заманауи тану нәтижелерін алған. Конволюциялық нейрондық желілер компьютерлік көруде кеңінен қолданылатынын және екі бағытты LSTM тілдік қолданбалар үшін өте танымал екенін ескере отырып, кіріс кескінінің кодері, интерфейс және декаодер деп аталатын үш негізгі бөліктен тұратын терең нейрондық желі құрылады. Кіріс кескінінің кодері конволюциялық қабаттардан жасалған. Ол екі өлшемді көріністерді өңдейді және объектілердің 2D карталарын ұсынады. Бұл бөлікте модельдің шамамен 20% бос параметрлері бар, бірақ архитектураның

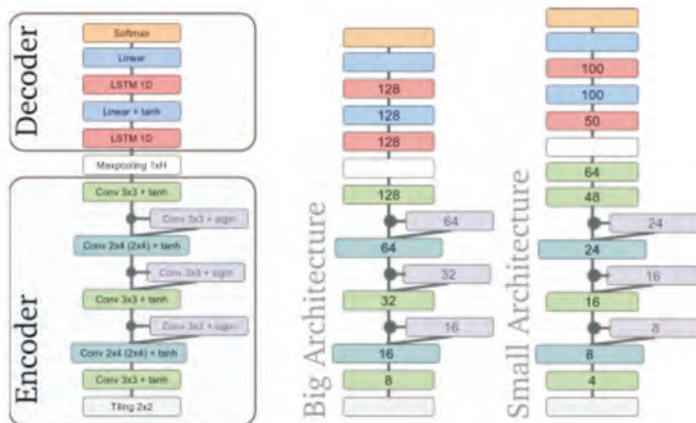
ең баяу компоненті (есептеу 80% ). Мақсат – осы бөлікті қайта пайдалану үшін мүмкіндігінше әмбебап ету (мысалы барлық тілдер немесе әртүрлі тапсырмалар үшін өңдеу). Интерфейс 2D кескініне ұқсас көріністі күтілетін 1D көрінісіне түрлендіреді (біз таңбалар тізбегін болжаймыз). Декодер – таңбалар тізбегін болжау үшін белгілер тізбегін өңдейтін екі бағытты LSTM RNN(Recurrent Neural Network). Ол желінің сыйымдылығының көп бөлігін алады (модель өлшемінің 80%), бірақ жылдам өңдеуді қамтамасыз етеді (есептеу уақытының 20%). Ұсынылған модельде қай контексте есептеу белгісі релевантты екенін жүйе тани алады (Сурет 3).



Сурет 3 – Конволюциялық элемент (қызыл түспен белгіленген)

Бұл жерде кодерде қолданылатын конволюциялық элементтер сипатталған. Басқару элементі объектінің келесі қабатқа таралуын басқарады. Негізінде, шлюз берілген позициядағы объектінің мәнін және іргелес мәндерді қарастырады және сол нысанды сол күйде сақтау немесе одан бас тарту туралы шешім қабылдайды. Бұл бүкіл суреттегі жалпы белгілерді есептеуге және контекстке сәйкес бұл белгілер маңызды болған кезде сүзуге мүмкіндік береді.

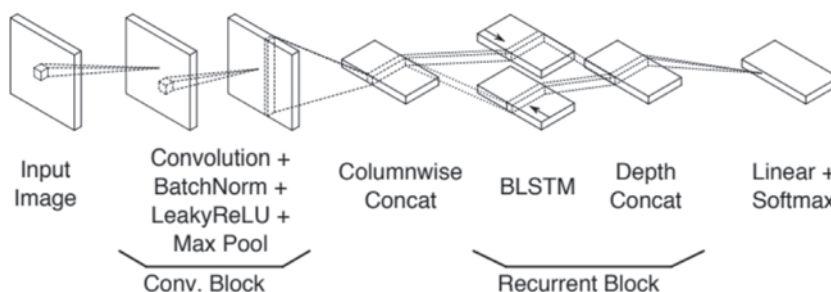
Әр түрлі тапсырмаларды (дәлдік, жылдамдық және өлшем) оңтайландыру үшін нейрондық желілердің архитектурасы құрылды (Сурет 4).



Сурет 4 – Ұсынылған нейрондық желілердің архитектурасы

Theodore Bluche and Ronaldo Messina ұсынған модель қолжазбаны танудың ең заманауи нәтижелерін беретін нейрондық желі архитектурасынан тұрады. Ол қолжазба мәтінінің жалпы белгілерін шығаратын конволюциялық кодерден және таңбалар тізбегін болжайтын әр тілге бейімделген LSTM декодерінен тұрады. Кодтаушының маңызды аспектісі – тиісті функцияларды таңдауға және қалғандарын блоктауға қабілетті конволюциялық қабаттар түрінде жүзеге асырылатын басқару элементтері.

Оффлайн қолжазбаны танудың заманауи тәсілдері LSTM ұзақ қысқа мерзімді жақтың көп өлшемді желілеріне негізделген. LSTM (ағылш. Long short-term memory) – ұзақ қысқа мерзімді жады желісі, бұл рекурентті нейронды желілердің архитектурасының бір түрі. Алайда, бұл архитектуралар өте жоғары есептеу шығындарына ие. Joan Puigserver осы архитектураға балама ретінде айтарлықтай жылдамырақ жұмыс істейтін тек конволюциялық және бір өлшемді қайталанатын қабаттарға сүйенетін модельді ұсынды [12]. Ұсынған модельдің архитектурасы үш блоктан тұрады: Конволюциялық блоктар рекурентті блоктар және сызықты блоктар (Сурет 5).



Сурет 5 – 1D-LSTM екі бағытты қолданатын нейрондық желі архитектурасы

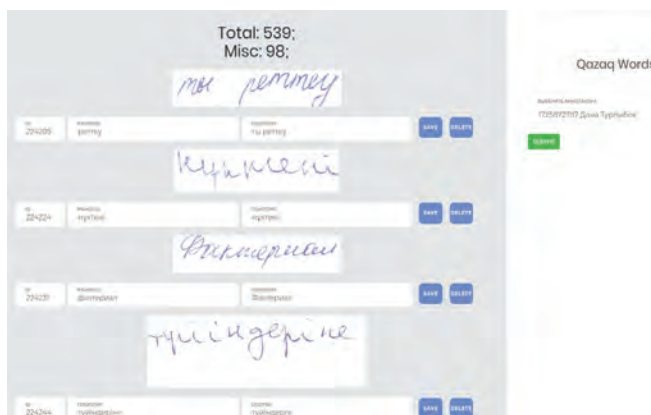
Joan Puigserver зерттеулерінде қолжазаны тану дәлдігіне қол жеткізу үшін көп өлшемді қайталанатын қабаттар қажет болмауы мүмкін екендігі туралы көптеген дәлелдер келтірген. Сонымен қатар, эксперименттік нәтижелердің статистикалық негізделген талдауы кеңінен қолданылатын IAM, Rimes екі деректер жиынтығы үшін бұл мәлімдемені растайды.

Қолжазба мәтінін тану конволюциялық қайталанатын нейрондық желілерге (ағылш. Convolutional Recurrent Neural Networks, CRNNs) негізделген. Тану үрдісінде конволюциялық қайталанатын нейрондық желілер, рекуренттік нейрондық желілерді пайдаланғанда құжаттарды сканерлеген кезде градиенттің жоғалуы, үлкен көлемдегі деректер мен есептеу ресурстарын қажет ететін миллиондаған параметрлер есептеулерді баялатуы мүмкін. Жақында зерттеушілер CRNN әдістерін толықтыратын жаңа класының архитектурасының модельдеп, жабық конволюциялық қайталанатын нейрондық желіні (ағылш. Gated Convolutional Neural Networks, Gated-CNN) ұсынды [13]. Gated-CRNN жаңа архитектурасы машиналық оқытудың соңғы тәсілдері Dauphin ұсынған Gated механизм [14] мен екі бағытты басқарылатын қайталанатын модуліні (ағылш. Bidirectional Gated Recurrent Units, BGRU) [15] біріктіреді. Ұсынылған Gated-CRNN моделі бірнеше параметрлерді (мыңдаған) қамтиды және мәтінді тану процесінде (жол деңгейінде және сегментациясыз) қателерді азайтады. Сонымен қатар, оқытылатын параметрлердің санын (мыңдаған) азайта отырып, есептеу шығындарын да кемітуге болады.

Жақында кириллица негіздегі қазақ және орыс тілдерінде қолжазбаны тану модельдерін өңдеу бойынша алғашқы рет [16] зерттеу жұмытарының нәтижесі жарияланды. Ұсынылған модель қолжазба мәтіннің жалпы сипаттамаларын бөліп шығаратын толығымен жабық конволюциялық кодерден, BGRU декодерден және таңбалар тізбегінің болжау үшін CTC (Connectionist temporal classification, CTC) моделінен тұрады. Бұл әдістің тиімділігі үш тілде: ағылшын, орыс және қазақ тілдерінде қолжазба мәтіндерінің дерекқорларын пайдалана отырып бағаланды. Ол басқа танымал модельдерге қарағанда қолжазба қазақ және орыс тілдерінде HKR [6] деректер жиынында үздік нәтижелерді көрсетті.

**Нәтижелер және оларды талқылау.** Барлық модельдер Python ортасында Tensorflow, Keras, Matplotlib кітапханаларының көмегімен жүзеге асырылды. TensorFlow – Google Brain командасы жасаған сандық есептеулер мен ауқымды машиналық оқытуға арналған Ашық бастапқы кітапхана. TensorFlow Машиналық оқыту мен терең оқытудың көптеген модельдері мен алгоритмдерін біріктіреді және оларды жалпы метафора ретінде пайдалы етеді. Keras – TensorFlow Машиналық оқыту платформасының үстінде жұмыс істейтін Python тілінде жазылған терең оқыту API. Keras-тың негізгі авторы-Google инженері Francois Chollet [17]. Keras iOS және Android смартфондарында терең оқыту үлгілерін енгізуге ниетті пайдаланушылар үшін мобильді платформаларды әзірлеуді ұсынады. Matplotlib-бұл деректерді визуализациялауға арналған пакет. Ол графиктердің кең ауқымын құруға арналған құралдарды ұсынады және жоғары деңгейдегі баптауларды қамтамасыз етеді.

Қазақ тілінде қолжазба деректерді жинау үшін арнайы Телеграм бот жасалды. Телеграм ботқа студенттердің қазақ тілінде 6000-ға жуық А4 форматта емтихан парағы сканерленді. Бұл алынған суреттер генетикалық алгоритм негізінде сөздерге сегменттелген. Осы сегменттелген сөздер ерікті пайдаланушыларға Телеграм боттың сілтемесі жіберілді. Ерікті пайдаланушылар Телеграм бот ұсынған сөзді енгізеді. Аннотацияларды жинау процесін жеңілдету үшін бір суретті екі кездейсоқ пайдаланушыға жіберу туралы шешім қабылданды. Егер екі пайдаланушыдан жіберілген аннотациялар абсолютті бірдей болса, біз бұл нәтижені сенімді деп есептеді. Деректер жиынтығын толық тексерілді. Сәйкес келмейтін сөздер үшін нейрондық желілер негізінде жауаптарды түзету құралы да жасалды (Сурет 7).

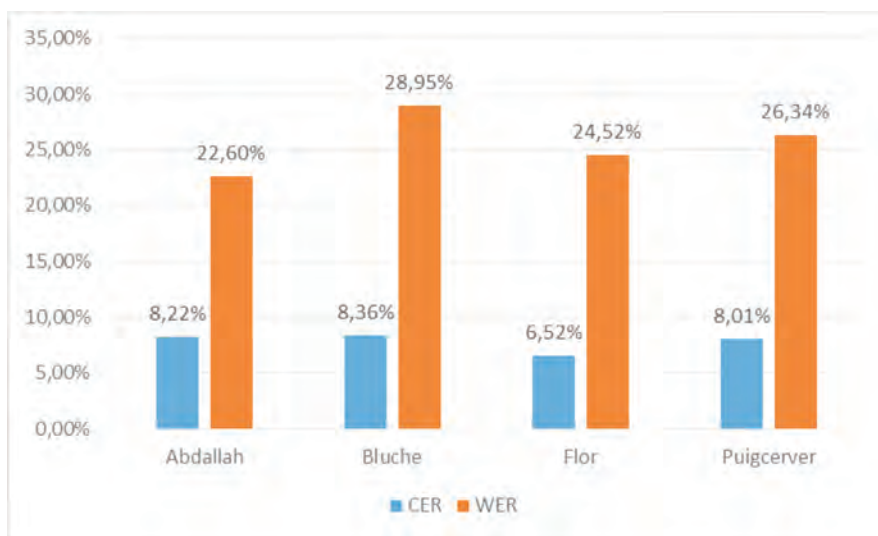


Сурет 7 – Нейрондық желілер негізінде жауаптарды түзету құралы



Жалпы қолжазба деректерін жинау барысында ерікті пайдаланушылар аннотацияларды өте ұқыпсыз толтырғаны, кейде тіпті дұрыс емес аннотациялар жазғаны белгілі болды. Осы жағдайларды болдырмау үшін біз нейрондық желіні бұрыннан бар толық емес деректер жиынтығында қолжазбаны тануға үйретілді. Нәтижесінде, деректер жиынтығында нейрондық желі субъективті түрде тамаша нәтижелер берді.

Барлық модельдер КОНТД қолжазба деректер жиынында оқытылды. Оқыту, валидация және тестілеу үшін деректер жиынтығын дайындағаннан кейін модельдер оқытылды және салыстырмалы бағалау бойынша бірқатар эксперименттер жүргізілді. Модельдердің таңбалардағы (CER) және сөздердегі (WER) қателер жиілігі көрсеткіштері бойынша бағаланды (сурет 6).



Сурет 6 – Модельдердің таңбалардағы (CER) және сөздердегі (WER) қателер жиілігі

Бұл зерттеу жұмысында Abdallah, Bluche, Flor және PUIGCERVER сияқты танымал терең оқыту модельдері пайдалана отырып, қазақ тіліндегі қолжазба мәтіндерін тану мәселесін шешуге әрекет жасалды.

**Қорытынды.** Бұл мақалада жасанды нейрондық желі негізінде кириллица негізіндегі қазақ тілінде қолмен жазылған мәтінді тану моделдері қарастырылған. Бұл модельлер нейрондық желінің архитектурасы конволюциялық нейрондық желі қабаттарынан тұрады және рекурренттік нейрондық желі, сондай-ақ коннекциялық уақыт жіктемесінен тұрады. Терең оқытудың әдістеріне шолу жасалып, эксперименттер жүргізілді. Эксперименттерге нәтижесіне сәйкес, Floop моделі қазақ тілінде қолмен жазылған мәтінді тануда ең жоғары жылдамдығын көрсетті.

## ӘДЕБИЕТ

1 Keysers D, Deselaers T, Rowley H. A., Wang L. -L., Carbone V. Multi-Language Online Handwriting Recognition. (2017). IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6764-0>

2 Marti U.-V., Bunke H. (2002). The IAM-database: an English sentence database for offline handwriting recognition. *International Journal on Document Analysis and Recognition*. <https://doi.org/10.1007/s100320200071>

3 Cohen G, Afshar S, Tapson J, van Schaik A. (2017). EMNIST: Extending MNIST to handwritten letters. 2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). <https://doi.org/10.1109/ijcnn.2017.7966217>

4 Su T., Zhang T., Guan D. (2007). Corpus. based HIT-MW database for offline recognition of general-purpose Chinese handwritten text. <https://doi.org/10.1007/s10032-006-0037-6>

5 Serrano N, Castro F, Juan A.(2010). The Rodrigo database. *Proceedings of the Seventh International Conference on Language Resources and Evaluation*. Valletta, Malta

6 Nurseitov D, Bostanbekov K, Alimova A, Abdallah A, Kurmankhojayev D. Tolegenov R. (2021). Handwritten Kazakh and Russian (HKR) database for text recognition. *Multimedia Tools and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11399-6>

7 Toiganbayeva N., Kasem M, Abdimanap G., Bostanbekov K., Abdallah A., Alimova A., Nurseitov D. (2022). KOHTD: Kazakh Offline Handwritten Text Dataset. *Signal Processing: Image Communication*. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/j.image.2022.116827>

8 Shrivastava V., Sharma N. (2012). Artificial Neural Networks Based Optical Character Recognition. *Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ)*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1211.4385>

9 Дейтел Пол, Дейтел Харви. (2020). Python: Искусственный интеллект, большие данные и облачные вычисления. СПб.: Питер

10 Mondal R., Malakar S., Barney Smith, E.H. et al. (2022). Handwritten English word recognition using a deep learning based object detection architecture. *Multimed Tools Appl.* vol. 81, pp. 975–1000 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11425-7>

11 Bluche T., Messina R. (2017). Gated Convolutional Recurrent Neural Networks for Multilingual Handwriting Recognition. 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). Kyoto, Japan. <https://doi.org/10.1109/icdar.2017.111>

12 Puigcerver J. (2017). Are Multidimensional Recurrent Layers Really Necessary for Handwritten Text Recognition? 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), Kyoto, Japan. <https://doi.org/10.1109/ICDAR.2017.20>

13 A. F. de Sousa Neto, B. L. D. Bezerra, A. H. Toselli and E. B. Lima. (2020). HTR-Flor: A Deep Learning System for Offline Handwritten Text Recognition .33rd SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI), Porto de Galinhas, Brazil. pp. 54-61, doi: <https://doi.org/10.1109/SIBGRAPI51738.2020.00016>

14 Dauphin Y. N., Fan A., Auli M., Grangier D. (2017) Language modeling with gated convolutional networks. *Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning*. Vol. 70, ser. ICML'17. JMLR.org, 2017, p. 933–941

15 Cho K, van Merriënboer B., Bahdanau D., Bougares, Fethi S., Bengio Y. (2020). Learning phrase representations using RNN encoder–decoder for statistical machine translation. 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). Association for Computational Linguistics, Doha, Qatar. <https://doi.org/10.3115/v1/D14-1179>

16 Abdallah Abdelrahman, Mohamed Hamada, Daniyar B. Nurseitov. (2020). Attention-Based Fully Gated CNN-BGRU for Russian Handwritten Text. *Journal of Imaging*. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:221150485>

17 Chollet F.(2017) Deep Learning with Python. United States of America

## REFERECES

- 1 Keysers D, Deselaers T, Rowley H. A., Wang L. -L., Carbune V. Multi-Language Online Handwriting Recognition. (2017). IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence. <https://doi.org/10.1007/s11042-018-6764-0>
- 2 Marti U.-V., Bunke H. (2002). The IAM-database: an English sentence database for offline handwriting recognition. International Journal on Document Analysis and Recognition. <https://doi.org/10.1007/s100320200071>
- 3 Cohen G, Afshar S, Tapson J, van Schaik A. (2017). EMNIST: Extending MNIST to handwritten letters. 2017 International Joint Conference on Neural Networks (IJCNN). <https://doi.org/10.1109/ijcnn.2017.7966217>
- 4 Su T., Zhang T., Guan D. (2007). Corpus. based HIT-MW database for offline recognition of general-purpose Chinese handwritten text. <https://doi.org/10.1007/s10032-006-0037-6>
- 5 Serrano N, Castro F, Juan A.(2010). The Rodrigo database. Proceedings of the Seventh International Conference on Language Resources and Evaluation. Valletta, Malta.
- 6 Nurseitov D, Bostanbekov K, Alimova A, Abdallah A, Kurmankhojayev D. Tolegenov R. (2021). Handwritten Kazakh and Russian (HKR) database for text recognition. Multimedia Tools and Applications. <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11399-6>
- 7 Toiganbayeva N., Kasem M, Abdimanap G., Bostanbekov K., Abdallah A., Alimova A., Nurseitov D. (2022). KOHTD: Kazakh Offline Handwritten Text Dataset. Signal Processing: Image Communication. Elsevier. doi: <https://doi.org/10.1016/j.image.2022.116827>
- 8 Shrivastava V., Sharma N. (2012). Artificial Neural Networks Based Optical Character Recognition. Signal & Image Processing: An International Journal (SIPIJ). <https://doi.org/10.48550/arXiv.1211.4385>
- 9 Dejtjel Pol, Dejtjel Harvi. (2020). Python: Iskusstvennyj intellekt, bol'shie dannye i oblachnye vychisleniya. SPb.: Piter
- 10 Mondal R., Malakar S., Barney Smith, E.H. et al. (2022).Handwritten English word recognition using a deep learning based object detection architecture. Multimed Tools Appl. vol. 81, pp. 975–1000 (2022). <https://doi.org/10.1007/s11042-021-11425-7>
- 11 Bluche T., Messina R. (2017). Gated Convolutional Recurrent Neural Networks for Multilingual Handwriting Recognition. 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR). Kyoto, Japan. <https://doi.org/10.1109/icdar.2017.111>
- 12 Puigcerver J. (2017). Are Multidimensional Recurrent Layers Really Necessary for Handwritten Text Recognition? 14th IAPR International Conference on Document Analysis and Recognition (ICDAR), Kyoto, Japan. <https://doi.org/10.1109/ICDAR.2017.20>
- 13 A. F. de Sousa Neto, B. L. D. Bezerra, A. H. Toselli and E. B. Lima. (2020). HTR-Flor: A Deep Learning System for Offline Handwritten Text Recognition .33rd SIBGRAPI Conference on Graphics, Patterns and Images (SIBGRAPI), Porto de Galinhas, Brazil. pp. 54-61, doi: <https://doi.org/10.1109/SIBGRAPI51738.2020.00016>
- 14 Dauphin Y. N., Fan A., Auli M., Grangier D. (2017) Language modeling with gated convolutional networks. Proceedings of the 34th International Conference on Machine Learning. Vol. 70, ser. ICML'17. JMLR.org, 2017, p. 933–941
- 15 Cho K, van Merriënboer B., Bahdanau D., Bougares, Fethi S., Bengio Y. (2020). Learning phrase representations using RNN encoder–decoder for statistical machine translation. 2014 Conference on Empirical Methods in Natural Language Processing (EMNLP). Association for Computational Linguistics, Doha, Qatar. <https://doi.org/10.3115/v1/D14-1179>
- 16 Abdallah Abdelrahman, Mohamed Hamada, Daniyar B. Nurseitov. (2020). Attention-Based Fully Gated CNN-BGRU for Russian Handwritten Text. Journal of Imaging. <https://api.semanticscholar.org/CorpusID:221150485>
- 17 Chollet F.(2017) Deep Learning with Python. United States of America

**Н. А. ТОЙГАНБАЕВА<sup>1</sup>, Ж. Х. ЖУНУСОВА<sup>1</sup>, А. ПРОВАТА<sup>2</sup>,  
Г. А. ТЮЛЕПБЕРДИНОВА<sup>1</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Институт нанонауки и нанотехнологий, г. Афины, Греция

## **РАСПОЗНАВАНИЕ ОФЛАЙН-РУКОПИСНЫХ ТЕКСТОВ НА КАЗАХСКО-РУССКОМ ЯЗЫКЕ НА ОСНОВЕ МОДЕЛЕЙ ГЛУБОКОГО ОБУЧЕНИЯ**

Оцифрованный текст рукописных заметок позволяет автоматизировать бизнес-процессы многих компаний и упрощает работу человека. В статье рассматривается распознавание письменной рукописи на русском и казахском языках с использованием моделей углубленного обучения. Поскольку почерк каждого человека уникален и нет возможности создавать общие образцы рукописного текста, отчет о распознавании текста в автономном режиме считается более сложным, чем отчет о распознавании в Интернете. В работе используются различные подходы к глубокому обучению при разработке моделей распознавания рукописного ввода на казахско-русском языке, касающихся кириллической графики. Важным элементом успешного глубокого обучения является доступность данных, вычислений, программных платформ и времени выполнения, что упрощает создание и выполнение моделей нейронных сетей для их создания. Обсуждались концепции глубокого обучения, конкурентоспособной, динамично развивающейся отрасли, предлагающей быстрые, количественные и справедливые инструменты для анализа и сравнения различных подходов и методов обучения. Были проанализированы популярные модели глубокого обучения, такие как Abdallah, Bluche, Flor и PUIGSERVER, а результаты экспериментов были проанализированы на основе гистограммы. Эксперименты проводились на основе большой базы данных офлайн-рукописных текстов на казахском языке под названием *Kazakh Offline Handwritten Text Dataset (КОНТД)*. Создан телеграм-бот, созданный специально для сбора рукописных данных на казахском языке. Инструмент для проверки информации и исправления ответов, введенный этим телеграм-ботом, был создан на основе нейронной сети.

**Ключевые слова:** почерк, глубокое обучение, нейронная сеть, КОНТД, наборы данных.

**N. A. TOIGANBAYEVA<sup>1</sup>, ZH. ZHUNUSSOVA<sup>1</sup>,  
A. PROVATA<sup>2</sup>, G. A. TYULEPBERDINOVA<sup>1</sup>**

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

<sup>2</sup>Institute of Nanoscience & Nanotechnology, Athens, Greece

## **RECOGNITION OF OFFLINE HANDWRITTEN TEXTS IN KAZAKH-RUSSIAN BASED ON DEEP LEARNING MODELS**

The digitized text of handwritten notes allows you to automate the business processes of many companies and facilitates the work of a person. The article discusses the recognition of written handwriting in Russian and Kazakh languages using in-depth learning models. Due to the fact that each person's handwriting is unique and there is no way to create general samples of handwritten text, the offline text recognition report is considered more complex than the online recognition report. The work uses various approaches to deep learning in the development of models of handwriting recognition in the Kazakh-Russian languages related to Cyrillic graphics. An important element of deep learning success is the availability of data, calculations, software platforms, and runtime, which makes it easier to build neural network models

*and execute them for production. The concepts of deep learning, a competitive, dynamically developing industry that provides fast, quantitative and fair means of analyzing and comparing different approaches and methods of learning, were discussed. Popular deep learning models such as Abdallah, Bluche, Flor and PUIGSERVER were reviewed and the results of the experiments were analyzed based on histograms. The experiments were based on a large database of offline handwritten texts in the Kazakh language called the Kazakh Offline Handwritten Text Dataset (KOHTD). A Telegram bot was created specifically for collecting handwritten data in the Kazakh language. A tool for checking the information entered through this Telegram bot and correcting responses was developed on the basis of a neural network.*

**Keywords:** *handwriting, deep learning, neural network, KOHTD, data set.*

**М. У. УТЕНОВ\*, Д. К. БАЛТАБАЙ**

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби,*

*г. Алматы, Казахстан*

*dauren.baltabay.95@gmail.com, umu53@mail.ru*

## **ПРЯМАЯ ПОЗИЦИОННАЯ ЗАДАЧА КИНЕМАТИКИ RRRRT МАНИПУЛЯТОРА В ПРОГРАММНОЙ СРЕДЕ MAPLE**

*В статье представлена прямая позиционная задача RRRRT манипулятора, созданного авторами 3D модели, и его движения с использованием программной среды Maple. В данной работе подробно изучена позиционная задача кинематики данного манипулятора. Для нахождения кинематических характеристик манипулятора рационально использованы методы Денавита-Хартенберга и Ньютона-Эйлера. Результаты получены в программной среде Maple, которая позволяет получить результаты кинематических характеристик в виде 3D-графиков. Такие графики позволяют визуально увидеть, как изменяются в пространстве модули и направления приведенных параметров манипулятора в графиках, в зависимости от положения манипулятора в пространстве.*

**Ключевые слова:** *движение манипулятора, кинематика, позиционная задача, 3D модель манипулятора, Maple.*

**Введение.** Исполнительными механизмами роботов являются манипуляторы. Манипуляторы можно рассматривать как разомкнутую цепь, которая состоит из нескольких звеньев, последовательно соединенных вращательными или поступательными парами, приводимыми в движение силовыми приводами. Один конец этой цепи соединен с основанием, а другой конец свободен и снабжен рабочим инструментом, позволяющим воздействовать на объекты манипулирования или выполнять различные технологические операции. Относительное движение кинематических пар передается звеньям, в результате схват манипулятора занимает в пространстве определенное положение. В большинстве случаев робототехники требуется описать пространственное положение схвата по отношению заданной абсолютной системе координат [1-2].

Кинематический анализ является важным фактором, влияющим на точность движения манипулятора, а также основой последующих анализа ошибок, управления роботом, планирования траектории, динамического анализа и т.д. Существует множество методов построения кинематики манипулятора. В настоящее время наиболее широко используемым методом создания кинематики манипулятора является метод Денавита-Хартенберга, основанный на однородной матрице преобразования [3-6].

Для нахождения кинематических характеристик манипулятора рационально использованы методы Денавита-Хартенберга и Ньютона-Эйлера. По нижеприведенному алгоритму прямой позиционной задачи кинематики разработана программа в программной среде Maple, которая позволила получить результаты кинематических характеристик в виде 3D-графиков. Такие графики позволяют визуально увидеть, как изменяются в пространстве модули и направления приведенных

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [umu53@mail.ru](mailto:umu53@mail.ru)



параметров манипулятора в графиках, в зависимости от положения манипулятора в пространстве.

**Методы исследования.** Для проведения кинематического анализа манипуляторов необходимо, во-первых, сформировать специальный выбор систем координат звеньев манипулятора.

Для проведения кинематического анализа используем манипулятор RRRRT, смоделированный авторами в программной среде Maple.

Сформированные системы координат звеньев RRRRT манипулятора приведены на рисунке 1.

Во-вторых, необходимо построить параметры кинематических пар исследуемого манипулятора. Эти параметры для RRRRT манипулятора приведены в таблице 1.

По таблице 1 можем заметить, что обобщенными координатами RRRRT манипулятора являются следующие параметры  $\theta_1, \theta_2, \theta_3, \theta_4, d_5$ .

Специальный выбор систем координат звеньев манипулятора позволяет с помощью лишь четырех параметров (не шести, как в общем случае) описать переход из одной системы в другую.

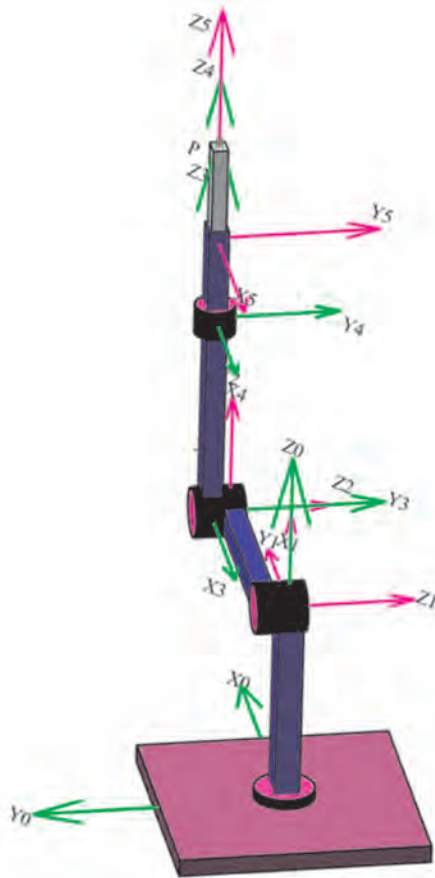


Рисунок 1 – 3D модель манипулятора RRRRT

Таблица 1 – Параметры кинематических пар для RRRRT манипулятора

Кинематические пары	Звенья, образующие кинематические пары	Виды кинематических пар	Значение параметров			
			$\theta_i$	$d_i$	$a_i$	$\alpha_i$
1	0,1	вращательная	$\theta_1$	0,85	0	$\frac{\pi}{2}$
2	1,2	вращательная	$\theta_2$	- 0,09	0,85	0
3	2,3	вращательная	$\theta_3$	- 0,09	0	$-\frac{\pi}{2}$
4	3,4	вращательная	$\theta_4$	0,85	0	0
5	4,5	поступательная	0	$d_5$	0	0

Систему  $O_{i-1}X_{i-1}Y_{i-1}Z_{i-1}$  можно преобразовать в систему  $O_iX_iY_iZ_i$  с помощью поворота, двух переносов и еще одного поворота, выполняемых в следующем порядке:

1)  $R(Z_{i-1}, \theta_i)$  – поворот системы  $O_{i-1}X_{i-1}Y_{i-1}Z_{i-1}$  вокруг оси  $Z_{i-1}$  на угол  $\theta_i$  до тех пор, пока ось  $X_{i-1}$  не станет параллельной оси  $X_i$ . Это движение может быть описано однородной матрицей элементарного вращения

$$R(Z_{i-1}, \theta_i) = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i) & 0 & 0 \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i) & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

2)  $T(Z_{i-1}, d_i)$  – перенос повернутой системы вдоль оси  $Z_{i-1}$  на величину  $s_i$  до тех пор, пока оси  $X_{i-1}$  и  $X_i$  не окажутся на одной прямой. Тогда однородная матрица элементарного сдвига имеет вид

$$T(Z_{i-1}, d_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

3)  $T(X_{i-1}, a_i)$  – перенос вдоль оси  $X_i$  на величину  $a_i$  до тех пор, пока не совпадут начала координат. Однородная матрица элементарного сдвига в этом случае, равна

$$T(X_{i-1}, a_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & a_i \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

4)  $R(X_i, \alpha_i)$  – поворот вокруг оси  $X_i$  на угол  $\alpha_i$  до совмещения оси  $Z_{i-1}$  с осью  $Z_i$ . Это действие описывается однородной матрицей вращения

$$R(X_i, \alpha_i) = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & \cos(\alpha_i) & -\sin(\alpha_i) & 0 \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}.$$

Параметр  $d_i$  представляет собой расстояние от начала  $O_{i-1}X_{i-1}Y_{i-1}Z_{i-1}$  системы координат до пересечения оси  $Z_{i-1}$  с осью  $X_i$ , отсчитываемое вдоль оси  $Z_{i-1}$ , если кинематическая пара  $(i-1, i)$  поступательная, то  $d_i$  является обобщенной координатой;  $a_i$  – расстояние между пересечением оси  $Z_{i-1}$  с осью  $X_i$  и началом  $O_iX_iY_iZ_i$  системы координат, отсчитываемое вдоль оси  $X_i$ ;  $\theta_i$  – угол, на который нужно повернуть ось  $X_{i-1}$  вокруг оси  $Z_{i-1}$ , чтобы она стала со направлена с осью  $X_i$ , если кинематическая пара  $(i-1, i)$  вращательная, то  $\theta_i$  является обобщенной координатой;  $\alpha_i$  равен углу поворота оси  $Z_{i-1}$  вокруг оси  $X_i$  до ее совпадения с осью  $Z_i$ .

Результирующая матрица перехода, связывающая системы  $O_{i-1}X_{i-1}Y_{i-1}Z_{i-1}$  и  $O_iX_iY_iZ_i$  является произведением выше приведенных матриц:

$$A_i^{i-1} = R(Z_{i-1}, \theta_i)T(Z_{i-1}, s_i)T(X_{i-1}, a_i)R(X_i, \alpha_i), \text{ или} \\ A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i)\sin(\alpha_i) & a_i\cos(\theta_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i)\cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i)\sin(\alpha_i) & a_i\sin(\theta_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) & s_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (1)$$

Матрица  $A_i^{i-1}$  запишем в следующем виде

$$A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} R_i^{i-1} & \vec{O}_i^{i-1} \\ 0 & 1 \end{bmatrix},$$

где

$$R_i^{i-1} = \begin{bmatrix} \cos(\theta_i) & -\sin(\theta_i)\cos(\alpha_i) & \sin(\theta_i)\sin(\alpha_i) \\ \sin(\theta_i) & \cos(\theta_i)\cos(\alpha_i) & -\cos(\theta_i)\sin(\alpha_i) \\ 0 & \sin(\alpha_i) & \cos(\alpha_i) \end{bmatrix}. \quad (2)$$

Матрица  $R_i^{i-1}$  – определяют ориентацию осей системы координат  $O_iX_iY_iZ_i$  относительно системы координат  $O_{i-1}X_{i-1}Y_{i-1}Z_{i-1}$

$$\vec{O}_i^{i-1} = \begin{bmatrix} a_i\cos(\theta_i) \\ -a_i\sin(\theta_i) \\ s_i \end{bmatrix}, \quad (3)$$

Вектор  $\vec{O}_i^{i-1}$  – характеризует положение точки начала системы координат  $O_iX_iY_iZ_i$  в системе отсчета  $O_{i-1}X_{i-1}Y_{i-1}Z_{i-1}$

С помощью матрицы  $A_i^{i-1}$  можно связать радиусы - векторы одной и той же точки в системах  $O_{i-1}X_{i-1}Y_{i-1}Z_{i-1}$  и  $O_iX_iY_iZ_i$ :

$$\vec{r}_i^{i-1} = A_i^{i-1}\vec{r}_i^i, \quad (4)$$

где  $\vec{r}_i^i = [x_i \ y_i \ z_i \ 1]^T$  – матрица-столбец, определяющая положение произвольной точки звена  $i$  в системе отсчета  $O_iX_iY_iZ_i$ , жестко связанной с этим звеном; а  $\vec{r}_i^{i-1} = -[x_{i-1} \ y_{i-1} \ z_{i-1} \ 1]^T$  – матрица-столбец, определяющая положение той же точки в системе  $O_{i-1}X_{i-1}Y_{i-1}Z_{i-1}$ , жестко связанной со звеном  $i-1$ .

Положение и ориентация  $i$ -того звена манипулятора в системе отсчета  $O_0X_0Y_0Z_0$ , связанной со стойкой, определяется следующим образом [7]:

$$A_i^0 = A_1^0 A_2^1 A_3^2 \dots A_i^{i-1} = \begin{bmatrix} R_i^0 & \vec{O}_i^0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix}. \quad (5)$$

где

$$R_i^0 = \begin{bmatrix} A_i^0(1,1) & A_i^0(1,2) & A_i^0(1,3) \\ A_i^0(2,1) & A_i^0(2,2) & A_i^0(2,3) \\ A_i^0(3,1) & A_i^0(3,2) & A_i^0(3,3) \end{bmatrix}, \quad (6)$$

$$\vec{O}_i^0 = \begin{bmatrix} A_i^0(1,4) \\ A_i^0(2,4) \\ A_i^0(3,4) \end{bmatrix}. \quad (7)$$

Левая подматрица  $R_i^0$  матрицы  $A_i^0$  представляет собой направляющие косинусы соответственно осей  $X_i Y_i Z_i$  в системе отсчета  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ . Вектор  $\vec{O}_i^0$  определяет положение точки начала системы координат  $O_i X_i Y_i Z_i$  в системе отсчета  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ .

Таким образом, решение определения положения звеньев манипулятора сводится к тому, что, задавшись значениями обобщенных координат, вычисляются с помощью (1) значения элементов матрицы  $A_i^0$ , а, следовательно, согласно (5), определяются положение и ориентация  $i$ -того звена в системе координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ , жестко связанной со стойкой манипулятора.

Обозначим через  $\vec{r}_i^i = [x_i^i \ y_i^i \ z_i^i \ 1]^T$  вектор однородных координат точки твердого тела в связанной системе координат  $O_i X_i Y_i Z_i$  и  $A_i^0$  - матрицу перехода к неподвижной системе  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ . Тогда имеет место следующее соотношение:

$$\vec{r}_i^0 = A_i^0 \vec{r}_i^i, \quad (8)$$

где  $\vec{r}_i^0 = [x_i^0 \ y_i^0 \ z_i^0 \ 1]^T$  - однородный вектор положения, точки  $\vec{r}_i^i = [x_i^i \ y_i^i \ z_i^i \ 1]^T$  твердого тела в связанной системе координат  $O_i X_i Y_i Z_i$ , в неподвижной системе координат  $O_0 X_0 Y_0 Z_0$ .

Угловая скорость  $\vec{\omega}_i$   $i$ -того звена относительно базовой системы координат представлено следующим образом [7]:

$$\vec{\omega}_i = \begin{cases} \vec{\omega}_{i-1} + R_{i-1}^0 \vec{z}_0 \dot{q}_i, & \text{если } i - \text{тая кинематическая пара вращательная,} \\ \vec{\omega}_{i-1}, & \text{если } i - \text{тая кинематическая пара поступательная,} \end{cases} \quad (9)$$

где  $i=1,2,\dots,n$ ,  $\vec{z}_0 = (0,0,1)^T$ .

Тогда угловое ускорение  $\vec{\varepsilon}_i$   $i$ -того звена относительно базовой системы координат определяется выражением:

$$\vec{\varepsilon}_i = \begin{cases} \vec{\varepsilon}_{i-1} + R_{i-1}^0 \vec{z}_0 \ddot{q}_i + \vec{\omega}_{i-1} \times (R_{i-1}^0 \vec{z}_0 \dot{q}_i), & \\ \vec{\varepsilon}_{i-1}, & \text{если } i - \text{тая кинематическая пара вращательная,} \\ \vec{\varepsilon}_{i-1}, & \text{если } i - \text{тая кинематическая пара поступательная.} \end{cases} \quad (10)$$

Для линейных скоростей и ускорений  $i$ -того звена манипулятора относительно базовой системы координат имеем следующие соотношения:

$$\vec{v}_i = \begin{cases} \vec{v}_{i-1} + \vec{\omega}_i \times \vec{p}_i^{i-1}, & \text{если } i - \text{тая кинематическая пара вращательная,} \\ \vec{v}_{i-1} + \vec{\omega}_i \times \vec{p}_i^{i-1} + R_{i-1}^0 \vec{z}_0 \dot{q}_i, & \text{если } i - \text{тая кинематическая пара поступательная,} \end{cases} \quad (11)$$

$$\vec{a}_i = \begin{cases} \vec{a}_{i-1} + \vec{\omega}_i \times (\vec{\omega}_i \times \vec{p}_i^{i-1}) + \dot{\vec{\omega}}_i \times \vec{p}_i^{i-1}, & \text{если } i - \text{тая кинематическая пара вращательная,} \\ \vec{a}_{i-1} + \vec{\omega}_i \times (\vec{\omega}_i \times \vec{p}_i^{i-1}) + 2\vec{\omega}_i \times (R_{i-1}^0 \vec{z}_0 \dot{q}_i) + \dot{\vec{\omega}}_i \times \vec{p}_i^{i-1} + R_{i-1}^0 \vec{z}_0 \ddot{q}_i, & \text{если } i - \text{тая кинематическая пара поступательная.} \end{cases} \quad (12)$$

$\vec{p}_i^{i-1}$  положение начала  $i$ -той системы координат относительно начала  $i-1$ -ой системы координат определим по следующему выражению:

$$\vec{p}_i^{i-1} = \vec{p}_i^0 - \vec{p}_{i-1}^0,$$

где

$$\vec{p}_i^0 = \begin{bmatrix} A_i^0(1,4) \\ A_i^0(2,4) \\ A_i^0(3,4) \end{bmatrix}, \vec{p}_{i-1}^0 = \begin{bmatrix} A_{i-1}^0(1,4) \\ A_{i-1}^0(2,4) \\ A_{i-1}^0(3,4) \end{bmatrix}.$$

Линейные скорости и ускорение точки  $\vec{P}_i^i = [x_i \ y_i \ z_i]^T$   $i$ -того звена соответственно относительно базовой системы координат определяются выражениями:

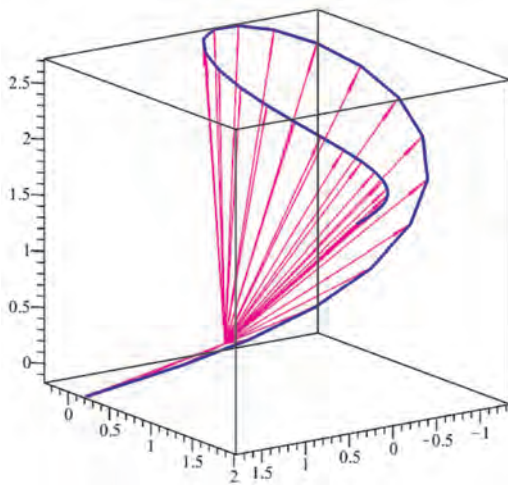
$$\vec{v}_{iP} = \vec{\omega}_i \times \vec{P}_i + \vec{v}_i, \quad (13)$$

$$\vec{a}_{iP} = \vec{a}_i + \vec{\omega}_i \times (\vec{\omega}_i \times \vec{P}_i) + \dot{\vec{\omega}}_i \times \vec{P}_i. \quad (14)$$

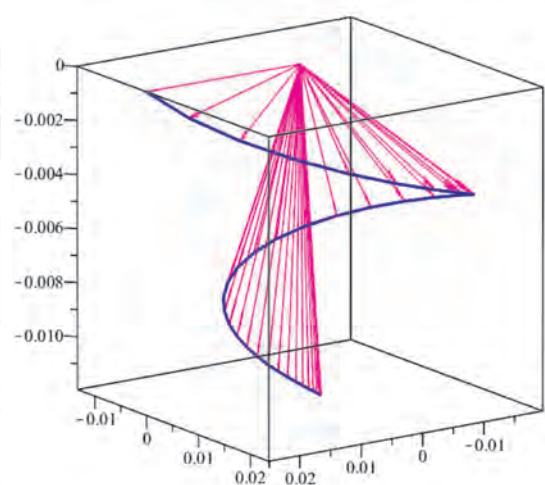
**Результаты кинематики RRRRT манипулятора в виде 3D графиков.** Ниже на рисунках 6-12 приведены полученные результаты в Maple 2021 кинематического анализа в виде 3d графиков некоторых кинематических характеристик RRRRT манипулятора для 36 положений относительно неподвижной системы координат  $O_0X_0Y_0Z_0$ , при следующих заданных значениях обобщенных координат:

$$\theta_1 = 2\pi \sin\left(\frac{\pi}{2k} * i\right), \quad \theta_2 = -\frac{\pi}{6} + \frac{2\pi}{3} \sin\left(\frac{\pi}{2k} * i\right), \quad \theta_3 = -\frac{\pi}{2} + \frac{2\pi}{3} \sin\left(\frac{\pi}{2k} * i\right), \quad \theta_4 = \frac{2\pi}{k} * i,$$

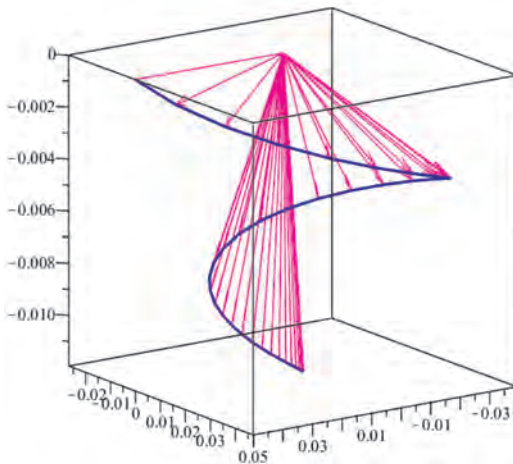
$d_5 = 0.35 * \sin\left(\frac{\pi}{2k} * i\right)$ , где  $k = 36$ ,  $i = 0..36$ . Точка P RRRRT манипулятора связана с системой координат  $O_5X_5Y_5Z_5$ , и относительно этой системы имеет координаты  $P_5 = [0 \ 0 \ 0.35]^T$ . Синяя (color = blue) линия на рисунках – траектория точки или годографы угловых и линейных ускорений относительно базовой системе координат  $O_0X_0Y_0Z_0$ . Розовые (color = magenta) прямые со стрелкой – это векторы, соединяющие точки траектории или годографа с началом базовой системы координат.



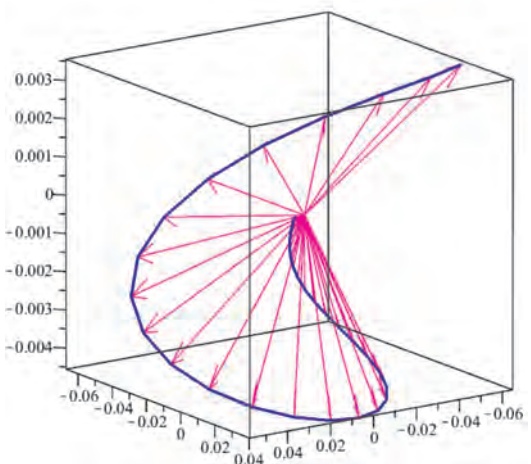
**Рисунок 2** – Траектория точки P для 36 положений RRRRT манипулятора относительно базовой системы координат  $O_0X_0Y_0Z_0$ .



**Рисунок 3** – Угловое ускорение звена  $\varepsilon_2$  – угловое ускорение звена 2 для 36 положений RRRRT манипулятора

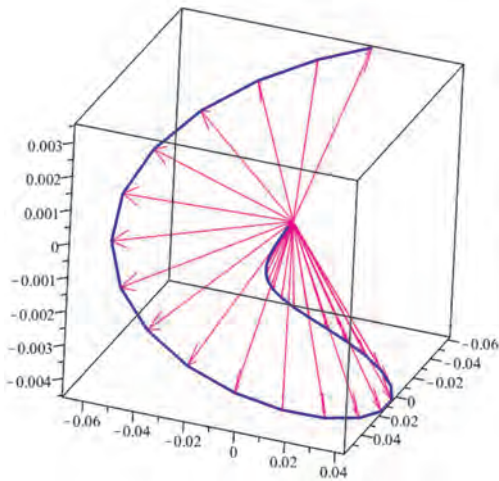


**Рисунок 4** – Угловое ускорение звена  $\varepsilon_3$  – угловое ускорение звена 3 для 36 положений RRRRT манипулятора.

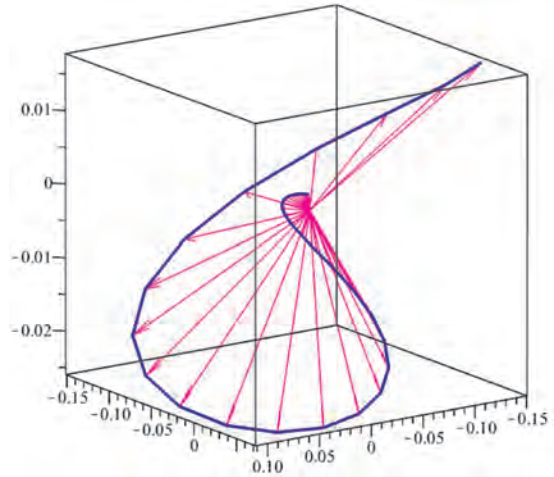


**Рисунок 5** – Линейное ускорение  $a_{02}$  начала  $O_2$  подвижной системы координат  $O_2X_2Y_2Z_2$  для 36 положений RRRRT манипулятора

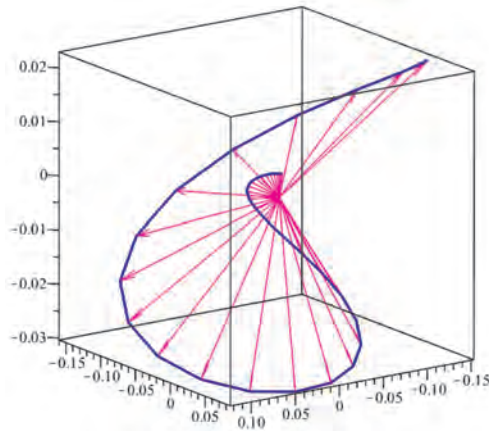




**Рисунок 6** – Линейное ускорение  $-a_{03}$  начала  $O_3$  подвижной системы координат  $O_3X_3Y_3Z_3$  для 36 положений RRRRT манипулятора.



**Рисунок 7** – Линейное ускорение  $-a_{04}$  начала  $O_4$  подвижной системы координат  $O_4X_4Y_4Z_4$  для 36 положений RRRRT манипулятора.



**Рисунок 8** – Линейное ускорение  $-a_{05}$  начала  $O_5$  подвижной системы координат  $O_5X_5Y_5Z_5$  для 36 положений RRRRT манипулятора.

**Заключение.** В этом исследовании предложен алгоритм решения прямой позиционной задачи манипуляторов с использованием методов Денавита-Хартенберга и Ньютона-Эйлера. По приведенному алгоритму прямой позиционной задачи кинематики разработана программа для RRRRT манипулятора в программной среде Maple, которая позволила получить результаты кинематических характеристик в виде 3D-графиков. Такие графики позволяют визуально увидеть, как изменяются

в пространстве модули и направления приведенных параметров манипулятора в графиках, в зависимости от положения манипулятора в пространстве.

## REFERENCES

- 1 Mittal RK, Nagrath IJ. Robotics and Control. 6th ed. New Delhi, India: Tata McGraw Hill Publishing Company Limited; 2003.
- 2 Saha SK. Introduction to Robotics. 2nd ed. New Delhi, India: McGraw Hill Publication Private Limited; 2008.
- 3 Koyuncu B, Guzel M. Software development for the kinematic analysis of a Lynx 6 robot arm. International Journal of Engineering and Applied Sciences. 2008; 4(4):230-5.
- 4 Manjaree S. (2013), Inverse Kinematic Analysis of 3-degree-of-freedom Robotic Manipulator using three different methods, International Journal of Advances in Science and Technology, 6(3), 71-80.
- 5 Shaoqiang Y, Zhong L, Zhingshan L. Modeling and simulation of robot based on MATLAB/Sim-Mechanics. Proceedings of 27th Chinese Control Conference; Kunming, Yunnan, China. 2008. p. 161-5.
- 6 Manjaree S, Nakra BC, Agarwal V. Comparative analysis for kinematics of 5-DOF industrial robotic manipulator. Acta Mechanica et Automatica. 2015; 9(4):229-40.
- 7 K. S. Fu, R.C. Gonzalez, C.S.G. Lee. Robotics: Control, Sensing, Vision, and Intelligence. McGraw-Hill Book Company (1987).

**М. У. УТЕНОВ, Д. Қ. БАЛТАБАЙ**

*ал-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан*

## MAPLE БАҒДАРЛАМАЛАУ ОРТАСЫНДА RRRRT МАНИПУЛЯТОР КИНЕМАТИКАСЫНЫҢ ТУРА ПОЗИЦИЯЛЫҚ ЕСЕБІ

Бұл мақалада Maple бағдарламалық ортасын қолдана отырып, авторлар жасаған RRRRT манипуляторының 3D моделі мен оның қозғалысының тура позициялық есебі келтірілген. Бұл жұмыста осы манипулятордың кинематикасының позициялық есебі егжей-тегжейлі зерттелген. Манипулятордың кинематикалық сипаттамаларын табу үшін денавит-Хартенберг және Ньютон-Эйлер әдістері ұтымды пайдаланылды. Нәтижелер 3D графиктер түрінде кинематикалық сипаттамалардың нәтижелерін алуға мүмкіндік беретін Maple бағдарламалық ортасында алынды. Мұндай графиктер кеңістіктегі манипулятордың жағдайына байланысты модульдердің кеңістіктегі қалай өзгеретінін және графиктегі манипулятордың көрсетілген параметрлерінің бағыттарын көзбен көруге мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** манипулятордың қозғалысы, кинематика, позициялық есеп, манипулятордың 3D моделі, Maple.

**M. U. UTENOV, D. K. BALTABAY**

*al-Faraby Kazakh national univercity, Almaty, Kazakhstan*

## DIRECT POSITIONAL KINEMATICS PROBLEM OF THE RRRRT MANIPULATOR IN THE MAPLE SOFTWARE ENVIRONMENT

---

*This article presents the direct positional problem of the RRRRT manipulator created by the authors of the 3D model and its movement using the Maple software environment. In this paper, the positional kinematics problem of this manipulator is studied in detail. To find the kinematic characteristics of the manipulator, the Denavit-Hartenberg and Newton-Euler methods were rationally used. The results were obtained in the Maple software environment, which allows you to obtain the results of kinematic characteristics in the form of 3D graphs. Such graphs allow you to visually see how the modules and directions of the given parameters of the manipulator in the graphs change in space, depending on the position of the manipulator in space.*

**Keywords:** *manipulator movement, kinematics, positional problem, 3D model of manipulator, Maple.*

**Б. Б. ШОЛПАНБАЕВ<sup>1</sup>, Ж. О. ОРАЛБЕКОВА<sup>2\*</sup>, А. Л. КАРЧЕВСКИЙ<sup>3</sup>,  
Н. Т. АЗИЕВА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Абай атындағы Қазақ ұлттық педагогикалық университеті,  
Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Новосібір мемлекеттік университеті, Новосібір қ., Ресей

## **ЖАСЫРЫН ОҚШАУЛАНҒАН НЫСАНДАРДЫ ІЗДЕУ БОЙЫНША ГЕОРАДАР ДЕРЕКТЕРІН ИНТЕРПРЕТАЦИЯЛАУ**

Бұл мақалада археология саласында георадар аспабын қолдану мүмкіндіктері қарастырылды. Қазба жұмыстарынсыз жер асты археологиялық нысандарын табуға мүмкіндік беретін геофизикалық әдіс таңдалып алынды. Георадарлар сигналдары радарограмма түрінде жазылады. Радарограммаларды интерпретациялау жердің және жер асты нысандардың болжамды бейнесін жасауға мүмкіндік береді. Дегенмен, радарограммаларды интерпретациялау георадар сатушыларымен ақылы түрде жүргізіледі. Сондықтан радарограммаларды интерпретациялаудың өзіндік әдістерін жасау міндеті өзекті болып табылады. Георадар геофизикалық аспабының көмегімен Қызылорда облысында елді мекендерден алыс жерде орналасқан бейіттер мен кесенелерден қалған қорғандар зерттелді. Зерттеу үшін үш нысан таңдалып алынды: екі қорған мен қорғандар арасындағы жер жолағы. Ең соңғысы бұл екі қорғандар арасында байланыс бар-жоғын анықтау үшін зерттелді. Зерттелетін аймақтың аумақтық геофизикалық сұлбасы жасалды. Зерттелетін мәселе бұзылмайтын әдісті қолдануды талап етеді. Бұл нысандарды кейіннен археологиялық қазбамен визуалды бақылаудың қолда бар әдістерімен салыстырғанда уақыт пен қаражатты айтарлықтай үнемдеу үшін ұзындығы 0,15 м. антенналары бар геофизикалық аспап көмегімен 0,2 м. қадаммен эксперименттік зерттеулер жүргізілді Үздіксіз аумақтық түсіру арқылы үш шаршы түсірілді. Сынақ, бақылау және ғылыми өлшемдер жүргізілді. Жасырын оқшауланған объектілерді болжау бойынша георадар деректері арнайы кірістірілген программалық қамтамасыздандыру арқылы өңделді. Археолог мамандарына ұсыныстар берілді.

**Түйін сөздер:** георадар, геодеректер, радарограмма, интерпретация, эксперименттік зерттеулер, технология.

**Кіріспе.** Георадар көмегімен эксперименттік зерттеулер жүргізу - қазба жұмыстарынсыз жер асты археологиялық нысандарын табуға мүмкіндік беретін геофизикалық әдістердің бірі. Георадарлар өте жоғары кең жолақты электромагниттік импульстарды шығарады және импульстардың қабаттар немесе нысандардың бөлінді шекараларынан шағылысуын тіркеп, радарограмма түрінде жазады. Радарограммаларды интерпретациялау жердің және жер асты нысандардың болжамды бейнесін жасауға мүмкіндік береді [1]. Дегенмен, радарограммаларды интерпретациялау георадар сатушыларымен ақылы түрде жүргізіледі. Сондықтан радарограммаларды интерпретациялаудың өзіндік әдістерін жасау міндеті өзекті болып табылады [2]. Ең алғаш рет георадарды археологиялық зерттеулерге 1975 жылы қолданылды [3, 4]. Одан кейінгі жылдары бұл салада зерттеулер жүргізу тәжірибелері бар, олардың ішінен [5-7] жұмыстарын атап өтуге болады. Қазақстанда да георадардың көмегімен бірқатар зерттеулер орын алды [8, 9].

\* E-mail корреспондирующего автора.: [oralbekova@bk.ru](mailto:oralbekova@bk.ru)

Зерттеу нысаны: Қызылорда облысында елді мекендерден алыс жерде орналасқан бейіттер мен кесенелерден қалған қорғандар. Зерттеу үшін 3 нысан таңдалып алынды:

1) үлкен қорған, өлшемі 41 м. x 48 м.; 2) кіші қорған, өлшемі 22 м. x 29,3 м.; 3) қорғандар арасындағы жер жолағы, өлшемі 6 м. x 14 м.

Зерттеу мақсаты: қорғандар құрылымының ішкі құрылысын анықтау және жер астынан көне қорымдар мен ғибадат орындарын табу үшін топырақ құрылымын геофизикалық зерттеу.

**Материалдар мен әдістер.** Екі қорғанның да төбесінде ойпаты бар, дөңгелек төбе тәріздес болып келген қорғандар. Кіші қорғанның жоғарғы жағында тік жол бар. Қорғандар арасындағы жер жолағы қорғандарға қарағанда салыстырмалы түрде тегіс. Үшеуінің де топырағы бірдей, құмның жұқа жер беті қабаты, тас пен құмның қоспасы болып келген.

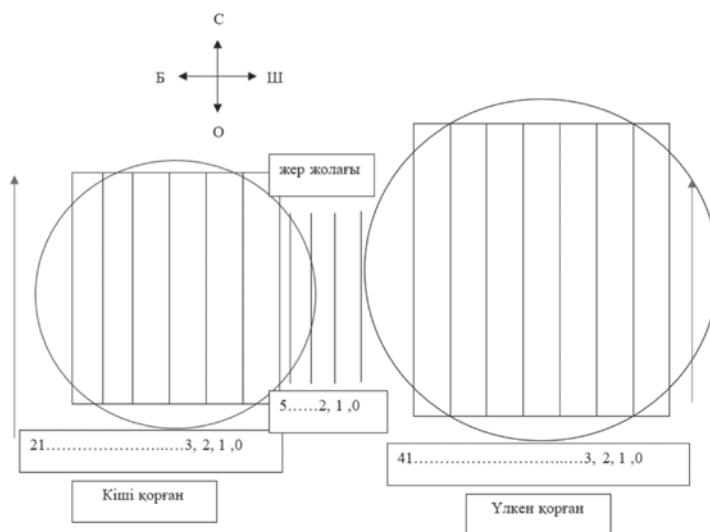
Зерттеу әдісі: жеке профильдер бойынша профильдік түсіру, белгіленген аумақты үздіксіз геофизикалық түсіру және тор бойынша аймақтық зондтау [10] қолданылды.

Зерттеу әдістерін негіздеу: зерттелетін нысандар елді мекендерден алыс жерде орналасуымен қатар, кейіннен археологиялық қазбамен визуалды бақылаудың қолда бар әдістерімен салыстырғанда уақыт пен қаражатты айтарлықтай үнемдейтін бұзылмайтын әдісті қолдану қажеттігі.

Барлығы үш геологиялық кескін жасалды:

- үздіксіз аумақтық түсіру арқылы 3 шаршы түсірілді;
- сынақ, бақылау және ғылыми өлшемдер жүргізілді.

1-суретте аумақтық геофизикалық зерттеудің сұлбасы келтірілген.



**Сурет 1** – Аумақтық геофизикалық зерттеудің сұлбасы

0,15 м. антенналары бар георадарлық аспаппен 0,2 м. қадаммен эксперименттік зерттеулер жүргізілді. Жүру бағыты барлық нысандар үшін бірдей және 1-суреттегі бағыттаушы бағытына сәйкес келеді.

1-суретте үлкен қорған профильдері 0-ден 41-ге дейін, кіші қорған профильдері 0-ден 21-ге дейін, ал қорғандар арасындағы жер жолағының профильдері 0-ден 5-ке дейін белгіленген. Барлық профильдер Шығыстан Батысқа қарай бағдарланған. Қорғандар арасында байланыс бар-жоғын анықтау үшін қорғандар арасындағы жер жолағы зерттелді.

**Нәтижелер және талқылау.** Зерттелген аймақтың жалпы көрінісі 2-суретте бейнеленген.



Сурет 2 – Оңтүстіктен аймақтың жалпы көрінісі

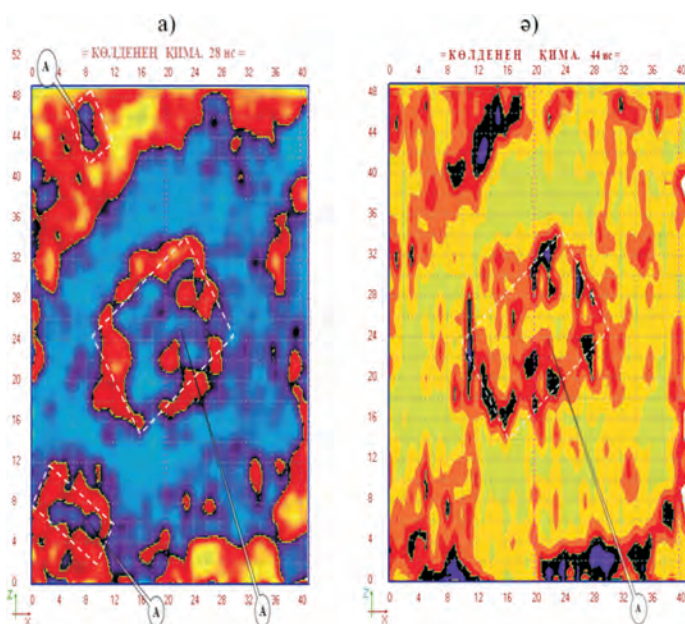
Шығыстан кіші қорған мен қорғандар арасындағы жер жолағының жалпы көрінісі 3-суретте келтірілген.



Сурет 3 – Кіші қорған мен қорғандар арасындағы жер жолағының жалпы көрінісі

Үлкен қорған аумағының профильдерінің көлденең қималары 4-суретте бейнеленген, болжамды археологиялық объектілер А нұсқаушысымен көрсетілген.

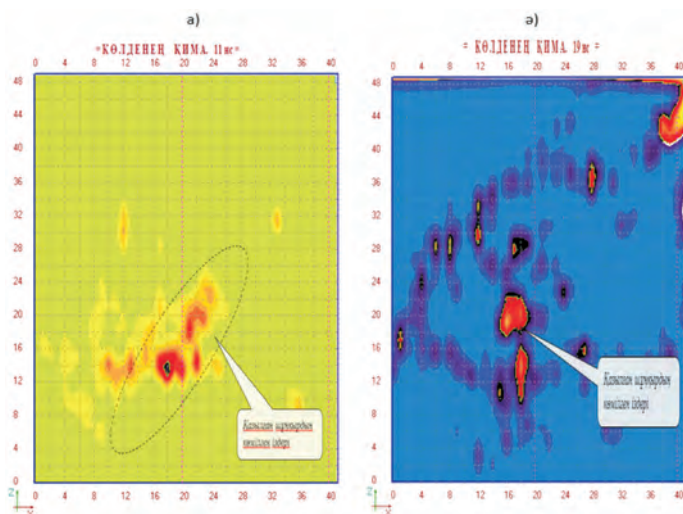




**Сурет 4** – Үлкен қорған аймағының профильдерінің көлденең қималары:  
а) 28 нс (1,68 м.) деңгейінде; б) 44 нс (2,64 м.) деңгейінде

Үлкен қорған аймағының орталық бөлігінде 1,6-1,7 м. мен 2,64 м. тереңдікте өлшемі 10-12 м. болатын кіші шаршы түріндегі археологиялық нысан байқалды. Нысан сәулеттік құрылымның тастарының құлауын білдіруі мүмкін.

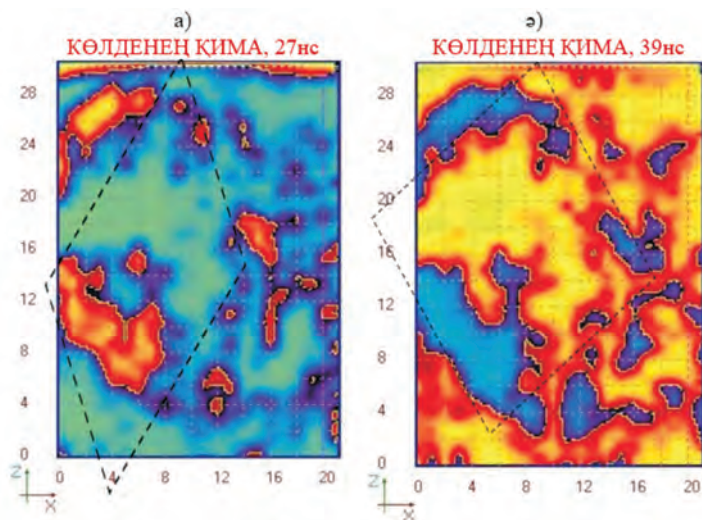
5-суретте 0,7 м. мен 1,2 м. деңгейінде үлкен қорған аймағының профильдерінің көлденең қималары келтірілген. Үлкен қорғанның оңтүстік бөлігінде 0,7 м. тереңдікте қазылған шұңқырдың іздері тіркелген. 0,12 м. тереңдікте қазылған шұңқырдың іздері



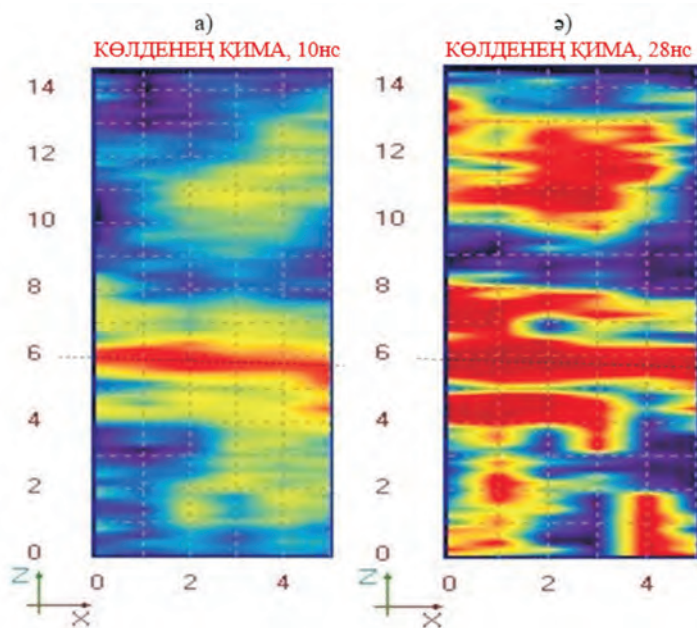
**Сурет 5** – Үлкен қорған аймағының профильдерінің көлденең қималары:  
а) 11 нс (0,7 м.) деңгейінде; б) 19 нс (1,2 м.) деңгейінде

жалғасып жазылды. Нысан рұқсат етілмеген қазбалардың іздері болуы мүмкін деген болжам жасалды. Қазылған шұңқырдың іздері орталық археологиялық алаңның оңтүстік-батыс бөлігінің үстінде орналасқан.

6-суретте кіші қорған аймағы профильдерінің көлденең қималары бейнеленген.



Сурет 6 – Кіші қорған аймағының профильдерінің көлденең қималары: а) 27 нс (1,62 м.) деңгейінде; ә) 39 нс (2,34 м.) деңгейінде



Сурет 7 – Қорғандар арасындағы жер жолағы аймағының профильдерінің көлденең қималары: а) 10 нс (0,6 м.) деңгейінде; ә) 28 нс (1,68 м.) деңгейінде

Кіші қорған аймағында 1,6 м.-ден 2,64 м.-ге дейінгі тереңдікте үлкен қорғандағы объектімен бірдей бағдарланған кіші шаршы пішінді құрайтын өңделмеген тастан жасалған құрылымның бөліктері тіркелді.

Қорғандар арасындағы жер жолағы аймағының профильдерінің көлденең кималары 7-суретте келтірілген.

Үшінші нысанның аймағында үлкен және кіші қорғандардың нысандарын байланыстыратын сызықтық құрылым тіркелді. Шамамен 1,6 м. тереңдікте үлкен және кіші қорғандардың объектілерін байланыстыратын сызықтық құрылымды тіркеу жалғасты.

**Қорытынды.** 3D аумақты түсіру нәтижесінде үлкен қорған массивінен өлшемдері 10 x 12 м. болатын дұрыс геометриялық пішінді нысан табылды. Нысан үйінді массивінің төгілген топырағының геологиялық құрылымының қасында айқын түрде ерекшеленеді. Табылған нысан құрылымы мен өлшемі жағынан осы аймақтан бұрын табылғандарға ұқсайды, орталық қорым кешенінің құрамына кіретін өңделмеген тастан жасалған сәулеттік құрылыс деуге негіз бар. Георадарлық зерттеу нәтижелері бойынша табылған нысан аумағында археологиялық қазбалар жүргізуге ұсыныстар беруге негіз бар. Оңтүстік беткейден үлкен қорғанның орталық бөлігінде көмілген шұңқырдың іздері тіркелгенін атап өту керек, бұл қорымға рұқсатсыз кіру мүмкіндігін көрсетеді.

Үш өлшемді аумақтық түсірілім нәтижесінде кіші қорған массивінде Үлкен қорғандағы нысанға ұқсас шаршы тәріздес үлкен пішінді құрайтын өңделмеген тастан жасалған құрылымның сынықтары табылды. Нысан құрылымы және өлшемі бойынша шикі тастан жасалған жерлеу қоршауына ұқсайды. Аудандық 3D түсіру нәтижесінде үлкен және кіші қорғандардың нысандарын біріктіретін үшінші аймақта сызықтық құрылым тіркелді.

## ӘДЕБИЕТ

- 1 <https://geoissledovaniya.ru/georadar-loza> (date of access: 24.04.2023).
- 2 Старовойтов, А.В. Интерпретация георадиолокационных данных. Учебное пособие. – М.: Издательство МГУ, 2008. – 192 с.
- 3 Bewan, B.W., Kenyon, J. Ground penetrating radar for historical archaeology // MASCA Newsletter. – 1975. – Vol. 11(2). – P. 2-7.
- 4 Vickers, R.S., Dolphin, L.T. A communication on an archaeological radar experiment at Chaco Canyon // MASCA Newsletter. – New Mexico, 1975. – Vol. 11(1). – P. 6-8.
- 5 Conyers, L.B. Ground-penetrating radar techniques to discover and map historic graves // Hist. Archaeol. – 2006. – Vol. 40. – P. 64-73.
- 6 Neubauer, W., Eder-Hinterleitner, A., Seren, S. Melichar, P. Georadar in the Roman civil town Garnuntum, Austria: an approach for archaeological interpretation of GPR data // Archaeol Prospect. – 2002. – Vol. 9. – P. 135-156.
- 7 Nishimura, Y., Goodman, D. Ground penetrating radar survey at Wroxeter // Archaeol Prospect. – 2000. – Vol. 7. – P. 101-105.
- 8 Iskakov, K., Boranbayev, S., Alimbayeva, Z., Issin, B. Experimental data of research using ground-penetrating radar Zond-12c and interpretation of georadarograms // Acta Physica Polonica A. – 2016. – Vol. 130(1). – P. 322–324.
- 9 Oralbekova, Z.O., Tyulepberdinova, G.A., Gaziz, G.G., Adamova, A.D., Sholpanbaev, B.B. The use of radar technologies in the hydraulic engineering in seismic zones // Journal of Applied Engineering Science. – 2021. – Vol. 19(4). – P. 1040–1048.

10 Dezert, T., Fargier, Y., Lopes, S.P., Côte, P. Geophysical and geotechnical methods for fluvial levee investigation: A review // Engineering Geology. – 2019. – Vol. 260. - 105206.

## REFERENCES

- 1 <https://geoissledovania.ru/georadar-loza> (date of access: 24.04.2023).
- 2 Starovoitov, A.V. Interpretaciya georadiolokacionnih dannih. Uchebnoe posobie [Interpretation of georadar data. Textbook]. - M.: MSU Publishing House, 2008. - 192 p.
- 3 Bewan, B.W., Kenyon, J. Ground penetrating radar for historical archaeology // MASCA Newsletter. – 1975. – Vol. 11(2). – P. 2-7.
- 4 Vickers, R.S., Dolphin, L.T. A communication on an archaeological radar experiment at Chaco Canyon // MASCA Newsletter. – New Mexico, 1975. – Vol. 11(1). – P. 6-8.
- 5 Conyers, L.B. Ground-penetrating radar techniques to discover and map historic graves // Hist. Archaeol. – 2006. – Vol. 40. – P. 64-73.
- 6 Neubauer, W., Eder-Hinterleitner, A., Seren, S. Melichar, P. Georadar in the Roman civil town Garnuntum, Austria: an approach for archaeological interpretation of GPR data // Archaeol Prospect. – 2002. – Vol. 9. – P. 135-156.
- 7 Nishimura, Y., Goodman, D. Ground penetrating radar survey at Wroxeter // Archaeol Prospect. – 2000. – Vol. 7. – P. 101-105.
- 8 Iskakov, K., Boranbayev, S., Alimbayeva, Z., Issin, B. Experimental data of research using ground-penetrating radar Zond-12c and interpretation of georadarograms // Acta Physica Polonica A. – 2016. – Vol. 130(1). – P. 322–324.
- 9 Oralbekova, Z.O., Tyulepberdinova, G.A., Gaziz, G.G., Adamova, A.D., Sholpanbaev, B.B. The use of radar technologies in the hydraulic engineering in seismic zones // Journal of Applied Engineering Science. – 2021. – Vol. 19(4). – P. 1040–1048.
- 10 Dezert, T., Fargier, Y., Lopes, S.P., Côte, P. Geophysical and geotechnical methods for fluvial levee investigation: A review // Engineering Geology. – 2019. – Vol. 260. - 105206.

**Б. Б. ШОЛПАНБАЕВ<sup>1</sup>, Ж. О. ОРАЛБЕКОВА<sup>2</sup>,  
А. Л. КАРЧЕВСКИЙ<sup>3</sup>, Н. Т. АЗИЕВА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Казахский национальный педагогический университет им. Абая,  
г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

<sup>3</sup>Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

## ИНТЕРПРЕТАЦИЯ ДАННЫХ ГЕОРАДАРА ДЛЯ ПОИСКА СКРЫТЫХ ИЗОЛИРОВАННЫХ ОБЪЕКТОВ

*В данной статье были рассмотрены возможности использования георадарного прибора в археологии. Выбран геофизический метод, позволяющий находить подземные археологические объекты без раскопок. Сигналы георадара записываются в виде радарограммы. Интерпретация радарограмм позволяет сделать прогнозное изображение подземных объектов. Однако интерпретация радарограмм несет коммерческий характер. Поэтому задача выработки собственных методик интерпретации радарограмм является актуальной. С помощью геофизического прибора георадара исследованы курганы, которые расположены вдали от населенных пунктов в Кызылор-*



динской области. Для исследования были выбраны три объекта: два кургана и полоса земли между курганами. Последний был исследован, чтобы определить, есть ли связь между двумя курганами. Создана схема разметки изучаемой территории. Исследуемая задача требует применения неразрушающего метода. В целях существенной экономии времени и средств по сравнению с существующими методами визуального осмотра этих объектов с последующими археологическими раскопками, были проведены экспериментальные исследования с шагом 0,2 м. с помощью геофизического прибора с 0,15 м. антеннами. Сделаны непрерывные площадные съемки трех квадратов. Были проведены тестовые, мониторинговые и научные измерения. Данные георадиолокации для прогнозирования скрытых изолированных объектов обрабатывались с помощью специального программного обеспечения. Даны рекомендации археологам.

**Ключевые слова:** георадар, геоданные, радарограмма, интерпретация, экспериментальные исследования, технология.

**B. B. SHOLPANBAEV<sup>1</sup>, ZH. O. ORALBEKOVA<sup>2</sup>,  
A. L. KARCHEVSKY<sup>3</sup>, N. T AZIYEVA<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>*Abai Kazakh National Pedagogical University, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*L. N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan*

<sup>3</sup>*Novosibirsk State University, Novosibirsk, Russia*

## **INTERPRETATION OF GEORADAR DATA TO SEARCH FOR HIDDEN ISOLATED OBJECTS**

*This article considered the possibilities of using a radar device in archeology. A geophysical method has been chosen that makes it possible to find underground archaeological sites without excavations. GPR signals are recorded as a radargram. Interpretation of radargrams makes it possible to make a predictive image of underground objects. However, the interpretation of radargrams is of a commercial nature. Therefore, the task of developing its own methods for interpreting radargrams is relevant. With the help of a geophysical GPR instrument, mounds, located far from settlements in the Kyzylorda region, were investigated. Three objects were chosen for the study: two barrows and a strip of land between the barrows. The latter has been investigated to determine if there is a connection between the two burial mounds. A marking scheme for the study area has been created. The problem under study requires the use of a non-destructive method. In order to significantly save time and money compared to existing methods of visual inspection of these objects with subsequent archaeological excavations, experimental studies were carried out with a step of 0.2 m using a geophysical instrument with 0.15 m antennas. Continuous areal surveys of three squares were made. Tests, monitoring, and scientific measurements were carried out. GPR data for predicting hidden isolated objects were processed using special built-in software. Recommendations to archaeologists are given.*

**Keywords:** *georadar, geodata, radarogram, interpretation, experimental research, technology.*

---

---

## ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА

УДК 517.958:536.2, 539.4

<https://doi.org/10.47533/2023.1606-146X.43>

**Л. А. АЛЕКСЕЕВА<sup>1</sup>, Д. А. ПРИКАЗЧИКОВ<sup>2</sup>, А. Н. ДАДАЕВА<sup>2</sup>,  
Н. Ж. АЙНАКЕЕВА<sup>4,5,6\*</sup>**

<sup>1</sup>*Институт математики и математического моделирования,  
г. Алматы, Казахстан*

<sup>2</sup>*Keele University, Staffordshire, United Kingdom*

<sup>3</sup>*Казахский национальный исследовательский технический университет  
им. К.И.Сатпаева, г. Алматы, Казахстан*

<sup>4</sup>*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, Алматы, Казахстан*

<sup>5</sup>*Институт механики и машиноведения им. академика У. А. Джолдасбекова,  
г. Алматы, Казахстан*

<sup>6</sup>*Университет Нархоз, г. Алматы, Казахстан,*

### **КРАЕВЫЕ ЗАДАЧИ ДИНАМИКИ ТЕРМОУПРУГИХ СТЕРЖНЕЙ И ИХ РЕШЕНИЯ**

*Рассматриваются пространственно-одномерные краевые задачи несвязанной термоупругости, которые можно использовать для исследования различных стержневых конструкций в условиях теплового нагрева. Как известно, стержневые конструкции являются соединительными и передаточными звеньями различных деталей машин и механизмов. Здесь предлагается единая методика решения различных краевых задач, типичных для практических приложений. Рассматриваются задачи определения термонапряженного состояния термоупругого стержня при различных краевых условиях на его концах и действующих силовых и тепловых источниках по всей длине стержня. На основе метода обобщенных функций построены обобщенные решения нестационарных и стационарных прямых и полубратных краевых задач при действии силовых и тепловых источников различного типа, в том числе стационарных источников периодических колебаний. Действующие источники могут быть заданы и сингулярными обобщенными функциями при различных краевых условиях на концах стержня. Рассмотрены ударные упругие волны, которые возникают в таких конструкциях при действии ударных нагрузок. Получены регулярные интегральные представления обобщенных решений, которые дают аналитическое решение поставленных краевых задач. Особенность построенных решений делает их удобными для исследования сетевых термоупругих систем, которые можно моделировать термоупругими графами.*

**Ключевые слова:** *термоупругость, сдвиг, напряжения, температура, методы обобщенных функций, преобразование Фурье, граничные уравнения, стержень.*

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [nursaule\\_math@mail.ru](mailto:nursaule_math@mail.ru)



**Введение.** Исследования по термоупругости возникли при решении задач о термоупругих напряжениях в элементах различных конструкций на основе теории, разработанной Duhamel J. [1] и Neumann F. [2]. В работах Biot M.A. [3] было впервые дано полное обоснование основных соотношений и уравнений связанной термоупругости с использованием термодинамики необратимых процессов и сформулированы вариационные теоремы.

В книге Novacki W. [4] подробно изложены математические модели для описания термонапряженного состояния деформируемых твердых тел и сред, движения которых, температура и напряженно-деформированное состояние зависят от действующих силовых и тепловых источников.

Подробный обзор работ для разных моделей термоупругих сред и состояний проведен в энциклопедии Hetnarski R. [5].

В работах Купрадзе В.Д., Гегелиа Т.Г. [6] ранее был разработан метод граничных интегральных уравнений (МГИУ) для решения трехмерных и двумерных краевых задач связанной и несвязанной термоупругости с использованием преобразования Лапласа или Фурье по времени для построения разрешающих граничных интегральных уравнений краевых задач. Построить такие уравнения в исходном пространстве-времени для уравнений связанной термоупругости не удается из-за особенностей фундаментальных решений, аналитические формулы для которых удается построить только для их трансформант.

Одна из основных проблем метода ГИУ в пространстве преобразования Фурье-Лапласа – неустойчивость численных процедур обращения трансформант решений с ростом времени, что не позволяет в расчетах строить решения в пространстве оригиналов при даже небольших временах для колебательных процессов. Поэтому остается актуальной проблема построения оригиналов решений краевых задач термоупругости.

Здесь рассмотрены пространственно-одномерные нестационарные краевые задачи несвязанной термоупругости, которые можно использовать для исследования различных стержневых конструкций. Эта модель хорошо описывает термодинамические процессы при малых скоростях деформаций, и здесь предлагается единая методика решения различных краевых задач, типичных для практических приложений.

**1. Постановка нестационарных краевых задач термоупругости.** Рассматривается термоупругий стержень длины  $2L$ , который характеризуется плотностью  $\rho$ , жесткостью  $EJ$  и термоупругими константами  $\gamma$  и  $\kappa$ .

Перемещения сечений стержня и температурное поле стержня описывается системой гиперболо-параболических уравнений вида [4]:

$$\rho c^2 u_{,xx} - \rho u_{,tt} - \gamma \theta_{,x} + \rho F_1 = 0, \quad (1)$$

$$\theta_{,xx} - \kappa^{-1} \theta_{,t} + F_2 = 0. \quad (2)$$

Здесь  $u(x,t)$  - компоненты продольных смещений,  $\theta(x,t)$  - относительная температура,  $F_1$  - продольная компонента объемной силы,  $c$  - скорость распространения термоупругих волн в стержне. Предполагается, что функции  $F_1(x,t), F_2(x,t)$  принад-

лежат классу обобщенных функций медленного роста, что позволяет моделировать термодинамические процессы в стержнях при действии сосредоточенных как силовых, так и тепловых источников различного типа.

Здесь и далее используем для краткости записи обозначения производной:  $u_{i,j} = \partial u_i / \partial x_j = \partial_j u_i$ .

Термоупругое напряжение в стержне определяется соотношением Дюамеля-Неймана:

$$\sigma(x,t) = \rho c^2 u_{,x}(x,t) - \gamma \theta(x,t). \tag{3}$$

Рассмотрим ряд прямых, характерных для инженерной практики, краевых задач термоупругости, решения которых удовлетворяют следующим начальным и краевым условиям.

*Начальные условия* (условия Коши): при  $t=0$  смещения, скорости и температура известны:

$$u(x,0) = u_0(x), \theta(x,0) = \theta_0(x), |x| \leq L, \partial_t u(x,0) = \dot{u}_0(x), |x| < L. \tag{4}$$

На концах стержня ( $x = x_1 = -L, x = x_2 = L$ ) заданы *краевые условия*, которые различны в зависимости от рассматриваемых краевых задач. Здесь построим решения следующих краевых задач.

*Краевая задача 1* (КЗ 1). Известны перемещения концов стержня и температура на них:

$$u(x_j,t) = w_j(t), \theta(x_j,t) = \theta_j(t), j = 1,2. \tag{5}$$

*Краевая задача 2* (КЗ 2). Известны напряжения на концах стержня и тепловые потоки на них:

$$\sigma(x_j,t) = p_j(t), \theta_{,x}(x_j,t) = q_j(t), j = 1,2. \tag{6}$$

Предполагается, что граничные функции удовлетворяют следующим условиям гладкости:

$$u_j(t) \in C(0, \infty), \theta_j(t) \in C(0, \infty), q_j(t) \in L_1(0, \infty), p_j(t) \in L_1(0, \infty). \tag{7}$$

**2. Ударные волны.** Система уравнений (1), (2) смешанного гиперболо-параболического типа. В силу гиперболичности, возможно возникновение ударных волн при ударных воздействиях на концах стержня.

Для вывода условий на фронтах ударных волн рассмотрим решения системы уравнений (1), (2) в классе обобщенных функций. Согласно правилам дифференцирования регулярных обобщенных функций [9,10] для ударных волн, эти уравнения примут вид:

$$\begin{aligned} & (\rho c^2 u_{,xx} - \rho u_{,tt} - \gamma \theta_{,x}) + \rho F_1 + ([\rho c^2 u_{,x} - \gamma \theta] v_x - \rho [u_{,t}] v_t) \delta_F(x,t) + \\ & + \rho c^2 \partial_x [u] \delta_F(x,t) - \rho \partial_t [u] \delta_F(x,t) = 0, \end{aligned} \tag{8}$$

$$(\theta_{,xx} - \kappa^{-1} \theta_{,t}) + F_2 + \partial_x ([\theta] v_x \delta_F) + [\theta_{,x}] v_x \delta_F - \kappa^{-1} [\theta] v_t \delta_F = 0.$$

Здесь квадратные скобки обозначают скачок указанных в них функций на фронтах ударных волн,  $\delta_F(x, t)$  - сингулярная обобщенная функция, простой слой на волновом фронте - характеристической поверхности  $F \in R^2 : c^2 v_x^2 - v_t^2 = 0 \Rightarrow A = -\frac{v_t}{v_x}$ .

Здесь  $\mathbf{v} = (v_x, v_t)$  - нормаль к  $F$  в  $D^-$ ,  $c$  - скорость распространения ударной волны, на которой напряжения могут иметь скачок. Из уравнений (13), с учетом (1), следует:

$$\begin{aligned} & \left( [\rho c^2 u_{,x} - \gamma \theta]_F v_x - \rho [u_{,t}]_F v_t \right) \delta_F + \rho c^2 \partial_x ([u]_F \delta_F) - \rho \partial_t ([u]_F \delta_F) = 0, \\ & \partial_x ([\theta]_F v_x \delta_F) + (v_x [\theta_{,x}]_F - \kappa^{-1} [\theta]_F v_t) \delta_F = 0. \end{aligned} \quad (9)$$

Поскольку, в силу сплошности среды,  $[u(x, t)]_{F_i} = 0$ , и в области дифференцируемости ударные волны являются обобщенными решениями (1), из (8), в силу независимости слагаемых сингулярных функций, получим условие непрерывности температуры на фронте ударной волны:  $[\theta(x, t)]_{F_i} = 0$ . Здесь фронт волны имеет простой вид:  $F_i = \{(x, t) : x \pm ct = x^0\}$ .

Это точка разрыва производных на интервале  $x \in (-L, L)$ , которая движется со скоростью  $c$  от точки  $x^0$ , где она формируется в ту или другую сторону. В результате из (9) следует, что на фронтах ударных волн должны выполняться следующие условия на скачки:

$$[u]_{F_i} = 0, \quad [\sigma]_{F_i} = -\rho c [\dot{u}]_{F_i}, \quad [\theta]_{F_i} = 0, \quad [\theta_{,x}]_{F_i} = 0.$$

Первое условие непрерывности перемещений – необходимое условие для сохранения сплошности среды. Второе условие описывает скачок напряжений (*удар*), который приводит к скачку скоростей на фронте волны. Из третьего и четвертого следует, что температура и тепловой поток непрерывны на фронте ударной волны. Это отличает модель связанной термоупругости от несвязанной, в которой тепловой поток имеет на фронте скачок, пропорциональный скачку скорости смещений стержня. Т.е. в отличие связанной термоупругости, термоударных волн в этой модели нет. Ударные волны чисто упругие.

Единственность решения начально-краевых задач с учетом ударных волн для модели связанной термоупругости показана нами в [8,9]. Поскольку модель несвязанной термоупругости является частным случаем этой модели, то отсюда следует единственность рассмотренных здесь краевых задач.

**3. Обобщенное решение начально-краевой задачи. Метод обобщенных функций.** Для определения решения задачи поставим краевую задачу в пространстве двумерных обобщенных вектор-функций медленного роста:

$$D'(R^2) = \{\hat{f} = (\hat{f}_1(x, t), \hat{f}_2(x, t)), \quad (x, t) \in R^2\}.$$

Для этого введем обобщенную вектор-функцию (помечаем их шапочкой):

$$(\hat{u}_1, \hat{u}_2) = \{\hat{u}, \hat{\theta}\} = \left\{ u(x, t)H(L - |x|)H(t), \theta(x, t)H(L - |x|)H(t) \right\},$$

где  $u(x, t), \theta(x, t)$  - классическое решение рассматриваемой краевой задачи,  $H(\dots)$  - функция Хевисайда. Вектор-функция  $(\hat{u}_1, \hat{u}_2)$  в  $D'(R^2)$  удовлетворяет системе уравнений вида:

$$\begin{aligned} c^2 \hat{u}_{,xx} - \hat{u}_{,t} - \gamma \rho^{-1} \hat{\theta}_{,x} + \hat{F}_1 &= -\left\{ \dot{u}_0(x)\delta(t) + u_0(x)\delta'(t) \right\} H(L - |x|) + \\ &+ c^2 H(t) \left\{ (p_1(t) - \tilde{\gamma}\theta_1(t))\delta(x + L) - (p_2(t) - \tilde{\gamma}\theta_2(t))\delta(x - L) \right\} + \\ &+ c^2 H(t) \left\{ w_1(t)\delta'(x + L) - w_2(t)\delta'(x - L) \right\}, \\ \hat{\theta}_{,xx} - \kappa^{-1} \hat{\theta}_{,t} + \hat{F}_2 &= \\ &= H(t)\delta(L + x)q_1(t) - H(t)\delta(L - x)q_2(t) + \\ &+ \theta_1(t)H(t)\delta'(L + x) - \theta_2(t)H(t)\delta'(L - x) - \kappa^{-1}\theta_0(x)\delta(t)H(L - |x|). \end{aligned}$$

Здесь  $\delta(t)$  - обобщенная дельта-функция,  $\tilde{\gamma} = \frac{\gamma}{\rho c^2}$ . Используя свойство фундаментальных решений уравнений этой системы  $U_j(x, t)$ , ее решение можно представить в виде следующей свертки:

$$\begin{aligned} u(x, t)H(t)H(L - |x|) &= U_1 * \hat{F}_1 - \tilde{\gamma} U_{1,x} * \hat{\theta}(x, t) + \\ &+ c^2 \sum_{k=1}^2 (-1)^k \left\{ (p_k(t) - \tilde{\gamma}\theta_k(t)) * U_{1,x} (x - (-1)^k L, t) + w_k(t) * U_{1,x} (x - (-1)^k L, t) \right\} + \\ &+ \left\{ \dot{u}_0(x)H(L - |x|) * U_1 + u_0(x)H(L - |x|) * U_{1,x} \right\}, \end{aligned} \tag{10}$$

$$\begin{aligned} \theta(x, t)H(t)H(L - |x|) &= \hat{F}_2(x, t) * U_2(x, t) + \\ &+ H(t) \sum_{k=1}^2 (-1)^k \left\{ q_k(t) * U_{2,x} (x - (-1)^k L, t) + \theta_k(t)H(t) * U_{2,x} (x - (-1)^k L, t) \right\} - \\ &- \kappa^{-1}\theta_0(x)H(L - |x|) * U_2(x, t). \end{aligned} \tag{11}$$

Здесь  $U_j(x, t)$  ( $j = 1, 2$ ) - это фундаментальные решения волнового уравнения (1) при  $F_1 = \delta(x)\delta(t)$  и уравнения теплопроводности при  $F_2 = \delta(x)\delta(t)$ , которые хорошо известны [9].

Формулы (10), (11) определяют перемещение и температуру внутри стержня по известным перемещениям, напряжениям, температуре и тепловым потокам на его концах. Однако для корректно поставленных краевых задач из 8 граничных функций известны только 4. Для определения неизвестных четырех следует построить разрешающие граничные уравнения на левом и правом конце стержня. Для этого рассмотрим решения (10), (11) в пространстве преобразования Фурье по времени.

#### 4. Трансформанта Фурье по времени функции Грина волнового уравнения.

Функция Грина волнового уравнения  $U_1(x, t)$  удовлетворяет уравнению Даламбера:

$$c^2 \frac{\partial^2 \hat{U}_1}{\partial x^2} - \frac{\partial^2 \hat{U}_1}{\partial t^2} + \delta(x)\delta(t) = 0,$$

и условиям излучения:  $\hat{U}_1(x, t) = 0$  при  $t < 0$ ,  $\hat{U}_1(x, t) = 0$  при  $\|x\| > ct$ .

Ее трансформанта Фурье является решением обыкновенного дифференциального уравнения:

$$\frac{d^2 \bar{U}_1}{dx^2} + k^2 \bar{U}_1 + A^2 \delta(x) = 0, \quad k = \frac{\omega + i0}{c},$$

Она и ее производная имеют вид:

$$\bar{U}_1(x, \omega) = -\frac{\sin(k|x|)}{2c(\omega + i0)}, \quad \bar{U}_{1,x} = -\frac{1}{2c^2} \cos(k|x|) \operatorname{sgn}(x). \quad (12)$$

Легко видеть, что

$$\bar{U}_1(0, \omega) = 0, \quad \bar{U}_{1,x}(\pm 0, \omega) = \mp 0,5A^2. \quad (13)$$

Это свойство используем для построения разрешающих уравнений краевых задач.

**5. Трансформанта Фурье по времени функции Грина уравнения теплопроводности.** Трансформанта Фурье функции Грина уравнения теплопроводности

удовлетворяет уравнению:  $\frac{d^2 \bar{U}_2}{dx^2} + i\omega \kappa^{-1} \bar{U}_2 + \delta(x) = 0$  и условиям симметрии:

$$\bar{U}_2(x, \omega) = \bar{U}_2(-x, \omega), \quad \bar{U}_2(x, \omega) \xrightarrow{|x| \rightarrow \infty} 0.$$

Обозначим  $k = \sqrt{i\omega \kappa^{-1}}$ . Нетрудно видеть, что функция  $\bar{U}_2(x, \omega) = -\frac{\sin k|x|}{2k}$ , удовлетворяет данному дифференциальному уравнению и

$$\bar{U}_2(0, \omega) = 0, \quad \bar{U}_{2,x}(\pm 0, \omega) = \mp 0,5. \quad (14)$$

Для решения поставленных краевых задач рассмотрим отдельно обобщенные решения уравнения теплопроводности и волнового уравнения.

**6. Решение температурных краевых задач в пространстве преобразования Фурье по времени.** Определим трансформанту Фурье температуры стержня, используя ее представление (21) и свойства преобразования Фурье свертки обобщенных функций. В результате получим:

$$\begin{aligned} \bar{\theta}(x, \omega) H(L - |x|) &= \bar{F}_2(x, \omega) *_{x} \bar{U}_2(x, \omega) + \kappa^{-1} \theta_0(x) H(L - |x|) *_{x} \bar{U}_2(x, \omega) + \\ &+ \sum_{k=1}^2 (-1)^k \left\{ \bar{q}_k(\omega) \bar{U}_2(x - (-1)^k L, \omega) + \bar{\theta}_k(\omega) \bar{U}_{2,x}(x - (-1)^k L, \omega) \right\}. \end{aligned} \quad (15)$$

Переходя к пределу при  $x \rightarrow \pm L$ ,  $x \in (-L, L)$  в формуле (15) и используя свойство преобразования Фурье производной фундаментального решения (14), из этих формул получим граничные уравнения для определения искомого граничных функций:

$$\begin{aligned}
 0,5\bar{\theta}(-L, \omega) &= \bar{F}_2(x, \omega) \Big|_x \ast \bar{U}_2(x, \omega) \Big|_{x=-L} - \kappa^{-1} \theta_0(x) H(L - |x|) \Big|_x \ast \bar{U}_2(x, \omega) \Big|_{x=-L} + \\
 &+ \bar{q}_2(\omega) \bar{U}_2(-2L, \omega) + \bar{\theta}_2(\omega) \bar{U}_{2,x}(-2L, \omega), \\
 0,5\bar{\theta}(L, \omega) &= \bar{F}_2(x, \omega) \Big|_x \ast \bar{U}_2(x, \omega) \Big|_{x=L} - \kappa^{-1} \theta_0(x) H(L - |x|) \Big|_x \ast \bar{U}_2(x, \omega) \Big|_{x=L} - \\
 &- \bar{q}_1(\omega) \bar{U}_2(2L, \omega) - \bar{\theta}_1(\omega) \bar{U}_{2,x}(2L, \omega).
 \end{aligned}$$

Отсюда, с учетом (14), следует теорема.

**Теорема.** Трансформанты Фурье по времени граничных функций краевых задач для уравнения теплопроводности удовлетворяют системе линейных алгебраических уравнений вида:

$$\begin{aligned}
 &\begin{Bmatrix} 0,5 & 0 \\ \bar{U}_{2,x}(2L, \omega) & \bar{U}_2(2L, \omega) \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{\theta}_1(\omega) \\ \bar{q}_1(\omega) \end{Bmatrix} + \\
 &+ \begin{Bmatrix} -\bar{U}_{2,x}(-2L, \omega) & -\bar{U}_2(-2L, \omega) \\ 0,5 & 0 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{\theta}_2(\omega) \\ \bar{q}_2(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{Q}_1(-L, \omega) \\ \bar{Q}_2(L, \omega) \end{Bmatrix}, \tag{16}
 \end{aligned}$$

где правые части определены начальными условиями и действующими тепловыми источниками:

$$\begin{aligned}
 \bar{Q}_1(x, \omega) &= \bar{F}_2(x, \omega) \Big|_x \ast \bar{U}_2(x, \omega) \Big|_{x=-L} - \kappa^{-1} \theta_0(x) H(L - |x|) \Big|_x \ast \bar{U}_2(x, \omega) \Big|_{x=-L}, \\
 \bar{Q}_2(x, \omega) &= \bar{F}_2(x, \omega) \Big|_x \ast \bar{U}_2(x, \omega) \Big|_{x=L} - \kappa^{-1} \theta_0(x) H(L - |x|) \Big|_x \ast \bar{U}_2(x, \omega) \Big|_{x=L}.
 \end{aligned}$$

Полученная система уравнений позволяет решить любые краевые задачи при заданных двух граничных функций температуры (или теплового потока) на концах стержня. Две другие определяются решением этой системы уравнений.

Для решения всех поставленных температурных краевых задач удобно рассмотреть расширенную систему уравнений вида:

$$\begin{Bmatrix} 0,5 & 0 & -\bar{U}_{2,x}(-2L, \omega) & -\bar{U}_2(-2L, \omega) \\ \bar{U}_{2,x}(2L, \omega) & \bar{U}_2(2L, \omega) & 0,5 & 0 \\ a_{31} & a_{32} & a_{33} & a_{34} \\ a_{41} & a_{42} & a_{43} & a_{44} \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \bar{\theta}_1(\omega) \\ \bar{q}_1(\omega) \\ \bar{\theta}_2(\omega) \\ \bar{q}_2(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{Q}_1(-L, \omega) \\ \bar{Q}_2(L, \omega) \\ \bar{b}_3(\omega) \\ \bar{b}_4(\omega) \end{Bmatrix}, \tag{17}$$

где последние два уравнения – это краевые условия на концах стержня:

$$\begin{Bmatrix} a_{31} & a_{32} \\ a_{41} & a_{42} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{\theta}_1(\omega) \\ \bar{q}_1(\omega) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} a_{33} & a_{34} \\ a_{43} & a_{44} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{\theta}_2(\omega) \\ \bar{q}_2(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{b}_3(\omega) \\ \bar{b}_4(\omega) \end{Bmatrix}. \tag{18}$$

При заданных коэффициентах  $a_{ij}$  и правой части  $\bar{b}_i(\omega)$  этой линейной алгебраической системы уравнений ее решение имеет вид:



$$D_j(\omega) = \frac{\Delta_j(\omega)}{\Delta(\omega)}, \quad D_j(\omega) = \left\{ \bar{\theta}_1(\omega) \quad \bar{q}_1(\omega) \quad \bar{\theta}_2(\omega) \quad \bar{q}_2(\omega) \right\}, \quad (19)$$

где  $\Delta(\omega)$  - основной определитель матрицы системы (17),  $\Delta_j(\omega)$  вспомогательный определитель матрицы, которая определяется простым правилом Крамера для каждого  $D_j(\omega)$ .

В качестве примера построим решения для температурного поля некоторых краевых задач.

**6.1. Температурное решение для КЗ1.** В этом случае известны температура на концах стержня:  $\bar{\theta}(x_j, \omega) = \bar{\theta}_j(\omega)$ ,  $j = 1, 2$ . Тогда краевые условия (18) имеют вид:

$$\begin{bmatrix} 1 & 0 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\theta}_1(\omega) \\ \bar{q}_1(\omega) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 1 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\theta}_2(\omega) \\ \bar{q}_2(\omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{b}_3(\omega) \\ \bar{b}_4(\omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{\theta}_1(\omega) \\ \bar{\theta}_2(\omega) \end{bmatrix}.$$

Подставляя эти коэффициенты и левую часть уравнений (17), получим решение (19) для определения теплового потока. Оно имеет вид:

$$\begin{aligned} \bar{q}_1(\omega) &= \frac{1}{\bar{U}_{2,x}(2L, \omega)} \left( \bar{Q}_2(L, x) - \bar{U}_{2,x}(2L, \omega) \bar{\theta}_1(\omega) - 0,5 \bar{\theta}_2(\omega) \right), \\ \bar{q}_2(\omega) &= -\frac{1}{\bar{U}_{2,x}(-2L, \omega)} \left( \bar{Q}_1(-L, x) + \bar{U}_{2,x}(-2L, \omega) \bar{\theta}_2(\omega) - 0,5 \bar{\theta}_1(\omega) \right). \end{aligned}$$

**6.2. Решение КЗ 2.** Здесь известны тепловые потоки на концах стержня:  $\bar{\theta}_{,x}(x_j, \omega) = \bar{q}_j(\omega)$ ,  $j = 1, 2$ . Краевые условия (18) имеют следующий вид:

$$\begin{bmatrix} 0 & 1 \\ 0 & 0 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\theta}_1(\omega) \\ \bar{q}_1(\omega) \end{bmatrix} + \begin{bmatrix} 0 & 0 \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \bar{\theta}_2(\omega) \\ \bar{q}_2(\omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{b}_3(\omega) \\ \bar{b}_4(\omega) \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \bar{q}_1(\omega) \\ \bar{q}_2(\omega) \end{bmatrix}.$$

Тогда можно вычислить неизвестную температуру:

$$\begin{aligned} \bar{\theta}_1(\omega) &= \frac{\Delta_1}{\Delta}, \quad \bar{\theta}_2(\omega) = \frac{\Delta_2}{\Delta}, \quad \text{где } j = 1, 2, \\ \Delta &= \begin{vmatrix} 0,5 & -\bar{U}_{2,x}(-2L, \omega) \\ \bar{U}_{2,x}(2L, \omega) & 0,5 \end{vmatrix} = 0,25 + \bar{U}_{2,x}(-2L, \omega) \bar{U}_{2,x}(2L, \omega), \\ \Delta_1 &= \begin{vmatrix} \bar{Q}_1 + \bar{U}_2(-2L, \omega) \bar{q}_2 & -\bar{U}_{2,x}(-2L, \omega) \\ \bar{Q}_2 - \bar{U}_2(2L, \omega) \bar{q}_1 & 0,5 \end{vmatrix} = \\ &= 0,5 \left( \bar{Q}_1 + \bar{U}_2(-2L, \omega) \bar{q}_2 \right) + \bar{U}_{2,x}(-2L, \omega) \left( \bar{Q}_2 - \bar{U}_2(2L, \omega) \bar{q}_1 \right), \\ \Delta_2 &= \begin{vmatrix} 0,5 & \bar{Q}_1 + \bar{U}_2(-2L, \omega) \bar{q}_2 \\ \bar{U}_{2,x}(2L, \omega) & \bar{Q}_2 - \bar{U}_2(2L, \omega) \bar{q}_1 \end{vmatrix} = \\ &= 0,5 \left( \bar{Q}_2 - \bar{U}_2(2L, \omega) \bar{q}_1 \right) - \bar{U}_{2,x}(2L, \omega) \left( \bar{Q}_1 + \bar{U}_2(-2L, \omega) \bar{q}_2 \right). \end{aligned}$$

### 7. Решение упругой краевой задачи в пространстве преобразования Фурье по времени

Определим трансформанту Фурье перемещений стержня, используя их представление (10), (11) и свойства преобразования Фурье сверток обобщенных функций. Поскольку температура стержня определена, то ее можно рассматривать как внешнюю заданную силу, которую вместе с действующей на стержень силой обозначим известными начальными условиями:

$$\begin{aligned} \bar{P}(x, \omega) = & \bar{F}_1 * \bar{U}_1 + \left\{ (\dot{u}_0(x) - i\omega u_0(x)) H(L - |x|) \right\} * \bar{U}_1 - \\ & - \tilde{\gamma} \bar{U}_{1,x} * \bar{\theta}(x, \omega) - c^2 \sum_{k=1}^2 (-1)^k \tilde{\gamma} \bar{\theta}_k(\omega) \bar{U}_1(x - (-1)^k L, \omega). \end{aligned} \quad (20)$$

Из формулы (10) следует представление перемещений в пространстве преобразования Фурье по времени:

$$\begin{aligned} \bar{u}(x, \omega) H(L - |x|) = & \bar{P}(x, \omega) + \\ & + c^2 \sum_{j=1}^2 (-1)^j \left\{ \left[ \bar{p}_j(\omega) \right] \bar{U}_1(x - (-1)^j L, \omega) + \left[ \bar{w}_j(\omega) \right] \bar{U}_{1,x}(x - (-1)^j L, \omega) \right\}. \end{aligned}$$

С учетом вида функции Грина волнового уравнения (12), получим обобщенное решение краевых задач в виде:

$$\begin{aligned} \bar{u}(x, \omega) H(L - |x|) = & \left\{ \bar{P}(x, \omega) - 0,5k^{-1} \bar{p}_1(\omega) \sin(k|x + L|) + 0,5 \bar{p}_2(\omega) k^{-1} \sin(k|x - L|) + \right. \\ & \left. - 0,5 \bar{w}_1(\omega) \cos(k|x + L|) \operatorname{sgn}(x + L) + 0,5 \bar{w}_2(\omega) \cos(k|x - L|) \operatorname{sgn}(x - L) \right\}. \end{aligned} \quad (21)$$

Если перейти в этой формуле к пределу к концам интервала, с учетом свойства производной функции Грина (12), получим уравнения для определения неизвестных граничных функций:

$$\begin{aligned} 0,5 \bar{w}_1(\omega) = & \bar{P}(x, \omega) \Big|_{x=-L} - 0,5k^{-1} \bar{p}_2(\omega) \sin(2Lk) + 0,5 \bar{w}_2(\omega) \cos(2Lk), \\ 0,5 \bar{w}_2(\omega) = & \bar{P}(x, \omega) \Big|_{x=L} + 0,5k^{-1} \bar{p}_1(\omega) \sin(2Lk) - 0,5 \bar{w}_1(\omega) \cos(2Lk). \end{aligned}$$

Эту систему перепишем в матричном виде:

$$\begin{aligned} \begin{Bmatrix} 0,5 & 0 \\ 0,5 \cos(2Lk) & -0,5k^{-1} \sin(2Lk) \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{w}_1(\omega) \\ \bar{p}_1(\omega) \end{Bmatrix} + \\ + \begin{Bmatrix} -0,5 \cos(2Lk) & 0,5k^{-1} \sin(2Lk) \\ 0,5 & 0 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{w}_2(\omega) \\ \bar{p}_2(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{P}(-L, \omega) \\ \bar{P}(L, \omega) \end{Bmatrix} \end{aligned} \quad (22)$$

В зависимости от решаемой краевой задачи из этой системы двух линейных алгебраических уравнений получим разрешающие граничные уравнения для определения трансформант неизвестных граничных функций.

*Решение КЗ 1.* Известны  $\bar{u}(x_j, \omega) = \bar{w}_j(\omega)$ ,  $j = 1, 2$ . Тогда из (22) получим уравнение для определения граничных напряжений:

$$\bar{p}_1(\omega) = -\frac{2\bar{P}(L, \omega) - \bar{w}_1(\omega)\cos(2Lk) - \bar{w}_2(\omega)}{k^{-1}\sin(2Lk)}, \quad \bar{p}_2(\omega) = \frac{2\bar{P}(-L, \omega) + \bar{w}_2(\omega)\cos(2Lk) - \bar{w}_1(\omega)}{k^{-1}\sin(2Lk)}.$$

*Решение КЗ 2.* Известны  $\bar{\sigma}(x_j, \omega) = \bar{p}_j(\omega)$ ,  $j = 1, 2$ . Тогда из (46) получим уравнение для определения граничных перемещений:

$$\begin{Bmatrix} 1 & -\cos(2Lk) \\ \cos(2Lk) & 1 \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{w}_1(\omega) \\ \bar{w}_2(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 2\bar{P}(-L, \omega) - k^{-1}\bar{p}_2(\omega)\sin(2Lk) \\ 2\bar{P}(L, \omega) + k^{-1}\bar{p}_1(\omega)\sin(2Lk) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{f}_1(\omega) \\ \bar{f}_2(\omega) \end{Bmatrix} \Rightarrow$$

$$\bar{w}_j(\omega) = \frac{\Delta_j(\omega)}{\Delta(\omega)}, \quad \Delta(\omega) = 1 + \cos^2(2Lk),$$

$$\Delta_1 = \bar{f}_1(\omega) + \bar{f}_2(\omega)\cos(2Lk), \quad \Delta_2 = \bar{f}_2(\omega) - \bar{f}_1(\omega)\cos(2Lk).$$

Аналогично тепловой задаче удобно ввести расширенную матрицу краевых задач и решать систему уравнений вида:

$$\begin{Bmatrix} 1 & 0 & -\cos(2Lk) & k^{-1}\sin(2Lk) \\ \cos(2Lk) & -k^{-1}\sin(2Lk) & 1 & 0 \\ \beta_{31} & \beta_{32} & \beta_{33} & \beta_{34} \\ \beta_{41} & \beta_{42} & \beta_{43} & \beta_{44} \end{Bmatrix} \times \begin{Bmatrix} \bar{w}_1(\omega) \\ \bar{p}_1(\omega) \\ \bar{w}_2(\omega) \\ \bar{p}_2(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} 2\bar{P}(-L, \omega) \\ 2\bar{P}(L, \omega) \\ d_3(\omega) \\ d_4(\omega) \end{Bmatrix}$$

где последние два уравнения – это краевые условия на перемещения и напряжения на концах стержня (с учетом известной температуры):

$$\begin{Bmatrix} \beta_{31} & \beta_{32} \\ \beta_{41} & \beta_{42} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{w}_1(\omega) \\ \bar{p}_1(\omega) \end{Bmatrix} + \begin{Bmatrix} \beta_{33} & \beta_{34} \\ \beta_{43} & \beta_{44} \end{Bmatrix} \begin{Bmatrix} \bar{w}_2(\omega) \\ \bar{p}_2(\omega) \end{Bmatrix} = \begin{Bmatrix} \bar{b}_3(\omega) \\ \bar{b}_4(\omega) \end{Bmatrix}.$$

При заданных коэффициентах  $\beta_{ij}$  и правой части  $\bar{b}_i(\omega)$  этой линейной алгебраической системы уравнений ее решение определяется простым правилом Крамера, аналогично (19).

**Заключение.** Теперь в формуле (21) все граничные функции определены. Выполняя обратное преобразование Фурье, получим оригинал решения в исходном пространстве-времени. Построение оригинала зависит от вида преобразования Фурье граничных функций и должно рассматриваться отдельно для конкретной краевой задачи. Подставляя известные значения температур и перемещений в формулу (3), получим термоупругие напряжения.

Как показано в статье, метод обобщенных функций позволяет строить по одному алгоритму решения как классических краевых задач термоупругости, так и других с различными линейно связанными краевыми условиями, что очень удобно при программировании и проведении численных экспериментов. Это особенность построения

ных решений делает их удобными для исследования сетевых термоупругих систем, которые можно моделировать термоупругими стержневыми графами.

Отметим, что изучением термонапряженного состояния стержней с различными физико-механическими свойствами занимается немного авторов, и в основном на основе численных конечно-элементных и разностных методов для исследования статического и квазистатического напряженно-деформированного состояния [9,10]. Ранее в работах [11] были решены и исследованы динамические краевые задачи динамики термоупругих стержней (связанная термоупругость) при действии источников низко- и высокочастотных стационарных колебаний.

Работа выполнена при финансовой поддержке Комитета науки Министерства образования и науки республики Казахстан (грант № AP19674789).

### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Duhamel J. Second memoire sur les phenomens thermomechanique/ J. Duamel // I.Ecole Polytechniquet. – 1837. V. 15, p. 1–15.
- 2 Neumann F.E. Die Geetze der Doppelbrechung des Lichtes in comprimirten order ungleichforforming erwarmten uncrystallinischen Korpern / F.E. Neumann // Abhandl. Konigl. Akad. Wissen. Berlin. – 1841. – №2. – Teil. S. – 254 p.
- 3 Biot M.A. Thermoelasticity and irreversible thermodynamics/ Journal of Applied Physics, 1956. – V. 27, – No 3. – p. 240 – 253.
- 4 Новацкий В. Динамические задачи термоупругости / В. Новацкий; М.: Мир, 1970. – с. 9 – 89.
- 5 Hetnarski R.B. Encyclopedia of Thermal Stresses / R.B.Hetnarski; Springer, 2014. DOI 10.1007/978-94-007-2739-7.
- 6 Купрадзе В.Д., Гегелиа Т.Г., Башелейшвили М.О., Бурчуладзе Т.В. Трехмерные задачи математической теории упругости и термоупругости / В.Д. Купрадзе, Т.Г. Гегелиа, М.О. Башелейшвили, Т.В.Бурчуладзе; М.: Наука, 1976. – 664 с.
- 7 Алексеева Л.А. Стационарные краевые задачи динамики термоупругих стержней / Л.А.Алексеева // Известия НАН РК. Серия физико-математическая. – 2014. – № 3. – С.144-152.
- 8 Alexeyeva L.A., Akhmetzhanova M.M. Stationary oscillations of thermoelastic rod under action of external disturbances / L.A.Alexeyeva , M.M. Akhmetzhanova // Global Journal of Engineering Science and Research Management. – 2018. – № 2. – Volume 5. – p. 33-43. DOI: 10.5281/zenodo.1186513.
- 9 Владимиров В.С. Уравнения математической физики / Владимиров В.С. М.: Наука, 1981. – с. 84-160.
- 10 Alexeyeva L.A., Dadayeva A.N. Shock thermoelastic waves as generalized solutions of thermoelasticity equations / L.A.Alexeyeva, A.N.Dadayeva // ISAAC 9-th Congress Abstracts. – Krakow, Poland, 2013. – p. 19–20.
- 11 Алексеева Л.А., Дадаева А.Н. О единственности решений краевых задач термоупругости с учетом термоударных волн/ Л.А. Алексеева, А.Н. Дадаева // Вестник КазНТУ им. К. Сат-паева. Серия математика, механика и информатика. 2013. – № 28 – с. 211-223.

### REFERENCES

- 1 Duhamel J. Second memoire sur les phenomens thermomechanique/ J. Duamel // I.Ecole Polytechniquet. – 1837. V. 15, p. 1–15.

2 Neumann F.E. Die Geetze der Doppelbrechung des Lichtes in comprimierten oder ungleichförmig erwärmten uncrystallinischen Körpern / F.E. Neumann // Abhandl. Königl. Akad. Wissen. Berlin. – 1841. – №2. – Teil. S. – 254 p.

3 Biot M.A. Thermoelasticity and irreversible thermodynamics/ Journal of Applied Physics, 1956. – V. 27, – No 3. – p. 240 – 253.

4 Novackij V. Dinamicheskie zadachi termouprugosti / V. Novackij; M.: Mir, 1970. – с. 9 – 89.

5 Hetnarski R.B. Encyclopedia of Thermal Stresses / R.B.Hetnarski; Springer, 2014. DOI 10.1007/978-94-007-2739-7.

6 Kupradze V.D., Gegelia T.G., Basheleishvili M.O., Burchuladze T.V. Trekhmernye zadachi matematicheskoy teorii uprugosti i termouprugosti / V.D. Kupradze, T.G. Gegelia, M.O. Basheleishvili, T.V.Burchuladze; M.: Nauka, 1976. – 664 s.

7 Alekseeva L.A. Stacionarnye kraevye zadachi dinamiki termouprugih stержnej / L.A. Alekseeva // Izvestiya NAN RK. Seriya fiziko-matematicheskaya. – 2014. – № 3. – S.144-152.

8 Alexeyeva L.A., Akhmetzhanova M.M. Stationary oscillations of thermoelastic rod under action of external disturbances / L.A.Alexeyeva, M.M. Akhmetzhanova // Global Journal of Engineering Science and Research Management. – 2018. – № 2. – Volume 5. – p. 33-43. DOI: 10.5281/zenodo.1186513.

9 Vladimirov V.S. Uravneniya matematicheskoy fiziki / Vladimirov V.S. M.: Nauka, 1981. – с. 84-160.

10 Alexeyeva L.A., Dadayeva A.N. Shock thermoelastic waves as generalized solutions of thermoelasticity equations / L.A.Alexeyeva, A.N.Dadayeva // ISAAC 9-th Congress Abstracts. – Krakow, Poland, 2013. – p. 19–20.

11 Alekseeva L.A., Dadaeva A.N. O edinstvennosti reshenij kraevykh zadach termouprugosti s uchetom termoudarnykh voln/ L.A. Alekseeva, A.N. Dadaeva // Vestnik KazNTU im. K. Satpaeva. Seriya matematika, mekhanika i informatika. 2013. – № 28 – s. 211-223.

**Л. А. АЛЕКСЕЕВА<sup>1</sup>, Д. А. ПРИКАЗЧИКОВ<sup>2</sup>, А. Н. ДАДАЕВА<sup>2</sup>,  
АЙНА Н. Ж. КЕЕВА<sup>4,5,6</sup>**

<sup>1</sup>Математика және математикалық модельдеу институты,  
Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Keele University, Staffordshire, United Kingdom

<sup>3</sup>Қ. И. Сәтбаев атындағы Қазақ ұлттық техникалық зерттеу университеті,  
Алматы қ., Қазақстан

<sup>4</sup>әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті., Алматы қ., Қазақстан

<sup>5</sup>Академик Ө. Жолдасбеков атындағы Механика және машинатану институты,  
Алматы қ., Қазақстан

<sup>6</sup>Нархоз университеті, Алматы қ., Қазақстан

## **ТЕРМОСЕРПІМДІ ӨЗЕКТЕР ДИНАМИКАСЫНЫҢ ШЕКАРАЛЫҚ ЕСЕПТЕРІ ЖӘНЕ ОЛАРДЫ ШЕШУ ЖОЛДАРЫ**

Біз термиялық қыздыру жағдайында әртүрлі стержендік құрылымдарды зерттеу үшін пайдаланылуы мүмкін қосылмаған термосерпімділіктің кеңістіктік бір өлшемді шекаралық есептерін қарастырамыз. Белгілі болғандай, штангалық құрылымдар әртүрлі машина бөлшектері мен механизмдерінің жалғастырушы және беріліс буындары болып табылады. Мұнда біз практикалық

қолданбаларға тән әртүрлі шекаралық есептерді шешудің бірыңғай әдістемесін ұсынамыз. Термосерпімді стерженьнің ұштарында әртүрлі шекаралық жағдайларда оның термиялық кернеулі күйін және өзекшенің бүкіл ұзындығы бойынша әсер етуші қуат пен жылу көздерін анықтау мәселелері қарастырылады. Жалпыланған функциялар әдісі негізінде әртүрлі типтегі қуат және жылу көздерінің, соның ішінде периодтық тербелістердің стационарлық көздерінің әсерінен стационарлы емес және стационарлы тікелей және жартылай кері шекаралық есептердің жалпыланған шешімдері тұрғызылды. Әрекет етуші көздерді стерженьнің ұштарында әртүрлі шекаралық шарттармен ерекше жалпыланған функциялар арқылы да көрсетуге болады. Мұндай құрылымдарда соққы жүктемелерінің әсерінен пайда болатын соққы серпімді толқындар қарастырылады. Қойылған шекаралық есептердің аналитикалық шешімін қамтамасыз ететін жалпыланған шешімдердің тұрақты интегралды бейнелері алынады. Құрылған ерітінділердің ерекшелігі оларды термосерпімді графиктер арқылы модельдеуге болатын желілік термосерпімді жүйелерді зерттеуге ыңғайлы етеді.

**Түйін сөздер:** термосерпімділік, ығысу, кернеу, температура, жалпыланған функция әдістері, Фурье түрлендіруі, шекаралық теңдеулер, стержень.

**L. A. ALEKSEYEVA<sup>1</sup>, D. A. PRIKAZCHIKOV<sup>2</sup>, A. N. DADAEVA<sup>2</sup>,  
N. J. AINAKEEVA<sup>4,5,6</sup>**

<sup>1</sup>*Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, Almaty, Kazakhstan*

<sup>2</sup>*Keele University, Staffordshire, United Kingdom*

<sup>3</sup>*Kazakh National Research Technical University named after K.I.Satpayev,  
Almaty, Kazakhstan*

<sup>4</sup>*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

<sup>5</sup>*Institute of Mechanics and Machine Science named after Academician  
U.A.Dzholdasbekov, Almaty, Kazakhstan*

<sup>6</sup>*Narkhoz University, Almaty, Kazakhstan*

## **BOUNDARY VALUE PROBLEMS OF THE DYNAMICS OF THERMOELASTIC RODS AND THEIR SOLUTIONS**

*We consider spatially one-dimensional boundary value problems of uncoupled thermoelasticity, which can be used to study various rod structures under thermal heating conditions. As is known, rod structures are connecting and transmission links of various parts of the machines and mechanisms. Here we propose a unified technique for solving various boundary value problems typical for practical applications. The problems of determining the thermally stressed state of a thermoelastic rod under various boundary conditions at its ends and acting power and heat sources along the entire length of the rod are considered. Based on the method of generalized functions, generalized solutions of non-stationary and stationary direct and semi-inverse boundary value problems under the action of power and heat sources of various types, including stationary sources of periodic oscillations, are constructed. Acting sources can also be specified by singular generalized functions, under various boundary conditions at the ends of the rod. Shock elastic waves that arise in such structures under the action of shock loads are considered. Regular integral representations of generalized solutions are obtained, which provide an analytical solution to the posed boundary value problems. The peculiarity of the constructed solutions makes them convenient for studying network thermoelastic systems that can be modeled by thermoelastic graphs.*

**Keywords:** thermoelasticity, shift, stress, temperature, generalized function methods, Fourier transform, boundary equations, rod.



**Б. С. БАЙЖАНОВ<sup>1,2</sup>, Т. С. ЗАМБАРНАЯ<sup>1</sup>, О. А. УМБЕТБАЕВ<sup>1,3\*</sup>**

<sup>1</sup>Институт математики и математического моделирования,  
050010, г. Алматы, Казахстан

<sup>2</sup>SDU University, 040900, г. Каскелен, Казахстан

<sup>3</sup>Казахстанско-Британский технический университет,  
050000, г. Алматы, Казахстан

## МАЛЫЕ УПОРЯДОЧЕННЫЕ ТЕОРИИ И СВОЙСТВА КВАЗИ-СЛЕДОВАНИЯ НА 1-ТИПЕ

Статья посвящена свойствам 1-типов в упорядоченных малых теориях, а именно некоторому обобщению понятия функции следования на целых числах, квази-следованию. В статье приводятся примеры 1-типов как на дискретных, так и на плотных порядках, на которых действует 2-формула  $\varphi(x, y)$  которая является квази-следованием. Впервые понятие квази-следования было введено авторами в предыдущих работах. Проблемы свойств и подсчёта числа счётных моделей теорий с определимым линейным порядком изучали многие учёные, среди них Л. Майер, С.В. Судоплатов, Б.Ш. Кулпешов, Б.С. Байжанов, А. Алибек, Т.С. Замбарная, С. Моконя и П. Танович. Формулы со свойствами следования играют важную роль в изучении случая максимума счётных моделей. Используя теорему компактности для неизолированного 1-типа, удаётся построить модель в которой есть бесконечный дискретный порядок типа  $\omega^* + \omega$ . На этом дискретном порядке можно выделить полный 1-тип со свойством квази-следования. Полное описание подкласса теорий, имеющих максимальный счётный спектр, открывает возможность описывать возможный счётный спектр для теорий с определимым линейным порядком.

**Ключевые слова:** малая теория, дискретный порядок, линейный порядок, 1-типы.

**Введение.** Теория  $T$  первого порядка называется **малой**, если  $\left| \bigcup_{n < \omega} S_n(T) \right| = \aleph_0$ . Для теорий  $T$ , которые не являются малыми,  $I(T, \aleph_0) = 2^{\aleph_0}$ . Готическими буквами ( $\mathfrak{M}, \mathfrak{N}, \dots$ ), мы обозначаем структуры, а буквами латинского алфавита – носители соответствующих структур ( $M, N, \dots$ ).

**Определение 1.** Пусть  $\mathfrak{M}$  – линейно упорядоченная структура. Множество  $A$  является выпуклым в множестве  $B \supseteq A$ , если для всех  $a, b \in A$  и всех  $c \in B$ , если  $a < c < b$ , тогда  $c \in A$ . Множество  $A$  выпукло, если оно выпукло в множестве  $M$ .

**Определение 2.** [1,2] Пусть  $\mathfrak{M}$  – линейно упорядоченная структура. Формула  $\varphi(x, \bar{y}, \bar{a})$  ( $\bar{a} \in M$ ) является выпуклой, если для всех  $\bar{b} \in M$  множество  $\varphi(M, \bar{b}, \bar{a})$  выпукло в каждой модели теории  $Th(\mathfrak{M})$ , содержащей  $\bar{b}$  и  $\bar{a}$ .

Пусть  $\psi(x) - A$  – определимая 1-формула. Обозначим

$$E_\psi(x, y) := \psi(x) \wedge \psi(y) \wedge (x \leq y \rightarrow \forall z(x \leq z \leq y \rightarrow \psi(z))) \wedge (y \leq x \rightarrow \forall z(y \leq z \leq x \rightarrow \psi(z))).$$

\* E-mail корреспондирующего автора: umbetbayev@math.kz

$E_\psi(x, y)$  задаёт отношение эквивалентности с выпуклыми классами на  $\psi(M)$ . [12,13]

Определение 3. [3 - 5] Пусть  $\mathfrak{M}$  – линейно упорядоченная структура,  $A \subseteq M$ ,  $\mathfrak{M} - |A|^+$  – насыщенная и неалгебраический.

1)  $A$ -определимая формула  $\varphi(x, y)$  является  $p$ -сохраняющей, если существуют  $\alpha, \gamma_1, \gamma_2 \in p(\mathfrak{M})$  такие, что  $p(\mathfrak{M}) \cap (\varphi(M, \alpha) \setminus \{\alpha\}) \neq \emptyset$  и  $\gamma_1 < \varphi(M, \alpha) < \gamma_2$ .

2)  $p$ -сохраняющая формула  $\varphi(x, y)$  является выпуклой вправо (влево) на  $p$ , если существуют  $\alpha \in p(\mathfrak{M})$  такие, что  $p(\mathfrak{M}) \cap \varphi(M, \alpha)$  выпукло во множестве  $p(\mathfrak{M})$  (то есть,  $\gamma_1, \gamma_2 \in (p(\mathfrak{M}) \cap \varphi(M, \alpha))$ ,  $\delta \in p(\mathfrak{M})$  и  $\gamma_1 < \delta < \gamma_2$  влечёт  $\delta \in \varphi(M, \alpha)$ ),  $\alpha$  – есть левая (правая) концевая точка множества  $\varphi(M, \alpha)$ , и  $\alpha \in \varphi(M, \alpha)$ .

3)  $p$ -сохраняющая выпуклая вправо (влево) формула  $\varphi(x, y)$  является квази-следованием на  $p$ , если для всякого  $\alpha \in p(\mathfrak{M})$  и всякого  $\beta \in (\varphi(M, \alpha) \setminus \{\alpha\}) \cap p(\mathfrak{M})$

$$p(\mathfrak{M}) \cap [\varphi(M, \beta) \setminus \varphi(M, \alpha)] \neq \emptyset.$$

**Обзор литературы.** В статье [6] Л. Майер доказала гипотезу **Воота** для класса  $o$ -минимальных теорий. Гипотеза **Воота** для почти  $o$ -минимальных была подтверждена С.В. Судоплатовым совместно с Б.Ш. Кулпешовым [7]. Для слабо  $o$ -минимальных теорий ранга выпуклости 1 гипотеза Воота была доказана А. Алибек, Б.С. Байжановым, Б.Ш. Кулпешовым и Т.С. Замбарной [8]. Для бинарных стационарно упорядоченных теорий гипотезу **Воота** подтвердили С. Моконя и П. Танович [9]. А для слабо  $o$ -минимальных теорий конечного ранга выпуклости гипотеза **Воота** была подтверждена Б.Ш. Кулпешовым [10]. Важным является рассмотрение случая максимальной счётности спектра упорядоченных теорий, так как он упрощает переход к изучению счётного спектра в общем. [11 - 14].

**Методы и материалы.** В данной статье используется один из главных методов теории моделей – изучение свойств моделей полных теорий при помощи типов, а для определения локальной совместности множества формул необходима теорема компактности.

**Результаты исследования и их обсуждение.** Теорема 4. Пусть  $\mathfrak{M}$  – счётная насыщенная модель малой линейно упорядоченной теории  $T$ , и пусть для каждого  $n < \omega$  существует  $t_n \geq n$  такой, что в  $\mathfrak{M}$  имеется дискретная цепь длины  $t_n$ . Тогда существуют 2- $A$ -формула  $\varphi(x, y)$ , где  $A$  – конечное подмножество  $M$ , и 1-тип  $p \in S_1(A)$ , такие, что  $\varphi(x, y)$  является квази-следованием на  $p(x)$ .

**Доказательство теоремы 4.** Пусть  $r(x_1, x_2) := \{x_1 < x < x_2\} \cup \{\theta_n(x_1, x_2) | n < \omega\}$ ,

$$\text{где } \theta_n(x_1, x_2) := \exists y_1 \exists y_2 \dots \exists y_n \left( x_1 \leq y_1 < y_2 < \dots < y_{n-1} < y_n \leq x_2 \wedge \forall z \left( x_1 < z < x_2 \rightarrow \exists z_1 \exists z_2 (x \leq z_1 < z < z_2 \leq x_2 \wedge \forall v (x_1 \leq v < z \rightarrow v \leq z_1) \wedge \forall w (z < w \leq x_2 \rightarrow z_2 \leq w) \right) \right).$$

Множество  $r$  совместно и, следовательно, существует кортеж  $ab$  реализующий  $r$ , и такой, что интервал  $(a, b)$  является дискретно упорядоченным множеством, содержащим копии  $(\mathbb{Z}, <)$ . Пусть  $\Gamma(x, a, b) := \{\psi_i(x, a, b) | i < \alpha\}$  – множество всех формул  $\psi_i(x, a, b)$  таких, что для каждого  $n < \omega$  есть  $E_{\psi_i}(x, y)$  – класс с более чем  $n$  элемен-

тами и  $\models \forall x(\psi_i(x, a, b) \rightarrow a < x < b)$ . Здесь  $\alpha$  – это либо конечный кардинал, либо  $\omega$ . Для  $i < \alpha$  обозначим  $r_i(x_1, x_2, a, b) := \{a < x_1 < x < x_2 < b \wedge \psi_i(x_1) \wedge \psi_i(x_2)\} \cup \{\theta_{n,i}(x_1, x_2) \mid n < \omega\}$ , где  $\theta_{n,i}(x_1, x_2) := \forall t(x_1 \leq t \leq x_2 \rightarrow \psi_i(t)) \wedge \exists y_1 \exists y_2 \dots \exists y_n (x_1 \leq y_1 < y_2 < \dots < y_{n-1} < y_n \leq x_2 \wedge \forall z (x_1 < z < x_2 \rightarrow \exists z_1 \exists z_2 (x \leq z_1 < z < z_2 \leq x_2 \wedge \forall v(x_1 \leq v < z \rightarrow v \leq z_1) \wedge \forall w(z < w \leq x_2 \rightarrow z_2 \leq w)))$ .

Пусть  $I_0 := \{i < \alpha \mid \exists m(i) < \omega, \forall x((a < x < b \wedge \neg \psi_i(x)) \rightarrow |E_{\neg \psi_i}(M, x)| < m(i))\}$ . Заметим, что для всякого  $i \in \alpha$ ,  $i \notin I_0$ , существует  $j < \alpha$ ,  $i \notin I_0$  такой, что  $\neg \psi_i(x) = \psi_j$ .

Зададим последовательность интервалов  $\langle (a_i, b_i) \mid i < \alpha \rangle$  таких, что  $(a_i, b_i) \subseteq (a_{i+1}, b_{i+1})$  и для 1-формулы  $\psi_i(x)$  верно одно из следующего:

а) существуют натуральные числа  $m(i)$ ,  $k(i) < \omega$  такие, что  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_i < x < b_i \rightarrow (|E_{\psi_i}(M, x)| < k(i)) \wedge |E_{\neg \psi_i}(M, x)| < m(i))$ ;

б)  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_i < x < b_i \rightarrow \psi_i(x))$ ;

в)  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_i < x < b_i \rightarrow \neg \psi_i(x))$ .

Так как для любых  $j > i$ ,  $(a_i, b_i) \subseteq (a_j, b_j)$  выполняется:

а)  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_j < x < b_j \rightarrow (|E_{\psi_i}(M, x)| < k(i)) \wedge |E_{\neg \psi_i}(M, x)| < m(i))$ .

б)  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_j < x < b_j \rightarrow \psi_i(x))$ .

в)  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_j < x < b_j \rightarrow \neg \psi_i(x))$ .

**Шаг 0.** Рассмотрим совместное множество формул  $r_0(x_1, x_2, a, b)$ . Пусть  $a_0 b_0$  – реализация типа  $r_0$ . Из определения частичного типа  $r_0$  следует, что  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_0 < x < b_0 \rightarrow \psi_0(x))$ .

**Шаг  $i + 1$ .** Случай 1.  $i + 1 \in I_0$ .

Случай 1.1. Существует  $k(i + 1) < \omega$  такой, что  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_i < x < b_i \rightarrow |E_{\psi_{i+1}}(M, x)| < k(i + 1))$ . Обозначим  $a_{i+1} := a_i$ ,  $b_{i+1} := b_i$ .

Случай 1.2. Для 1-формулы  $\psi_{i+1}(x, a, b)$  выполняется следующее: для любого  $n < \omega$  существует  $E_{\psi_{i+1}}(x, y)$ -класс, имеющий более чем  $n$  элементов и лежащий между  $a_i$  и  $b_i$ . Рассмотрим  $r_{i+1}(x_1, x_2, a_i, b_i)$ . Данное множество 1-формул совместно и, следовательно, существует кортеж  $a_{i+1} b_{i+1}$ , реализующий тип  $r_{i+1}$ , и верно следующее:  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_{i+1} < x < b_{i+1} \rightarrow \psi_{i+1}(x))$ .

Случай 2.  $i + 1 \notin I_0$ . В этом случае,  $\neg\psi_{i+1} = \psi_j$  для некоторого  $j < \alpha$ . Предположим, что  $i + 1 < j$ .

Случай 2.1. Существуют два натуральных числа  $m(i + 1), k(i + 1) < \omega$  такие, что  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_i < x < b_i \rightarrow |E_{\psi_{i+1}}(M, x)| < k(i + 1))$  и  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_i < x < b_i \rightarrow |E_{\neg\psi_{i+1}}(M, x)| < m(i + 1))$ .

Случай 2.2. Для одной из двух формул,  $\psi_{i+1}(x)$ ,  $\neg\psi_{i+1}$  верно следующее: для каждого  $n < \omega$  существует  $E_{\psi_{i+1}}(x, y)$ -класс, имеющий более чем  $n$  элементов и лежащий между  $a_i$  и  $b_i$ , либо для каждого  $n < \omega$  существует  $E_{\neg\psi_{i+1}}(x, y)$ -класс, имеющий более чем  $n$  элементов и лежащий между  $a_i$  и  $b_i$ . Тогда множество  $r_{i+1}(x_1, x_2, a_i, b_i)$  совместно,  $r_j(x_1, x_2, a_i, b_i)$  совместно, либо совместны оба эти множества. Пусть  $a_{i+1}b_{i+1}$  – реализация типа  $r_{i+1}(x_1, x_2, a_i, b_i)$ , либо типа  $r_j(x_1, x_2, a_i, b_i)$ . Из определения частичного типа  $r_i$  следует, что  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_{i+1} < x < b_{i+1} \rightarrow \psi_{i+1}(x))$  либо  $\mathfrak{M} \models \forall x (a_{i+1} < x < b_{i+1} \rightarrow \neg\psi_{i+1}(x))$ .

Рассмотрим следующее совместное множество 2-формул над  $\{a_i \mid i < \alpha\} \cup \{b_i \mid i < \alpha\}$ :

$$\{a_i < x_1 < x_2 < b_i \mid i < \alpha\} \cup \{\exists y_1 \exists y_2 \dots \exists y_n (x_1 < y_1 < y_2 < \dots < y_n < x_2) \mid n < \omega\}.$$

Пусть  $a_\alpha b_\alpha$  – реализация данного множества. Тогда упорядочение интервала  $(a_\alpha, b_\alpha)$  должно быть дискретным и если  $\psi(x)$  – это имеющая пересечение с интервалом  $(a_\alpha, b_\alpha)$  формула, то: либо все элементы этого интервала являются реализациями формулы  $\psi(x)$ , либо мощность каждого выпуклого класса формулы  $\psi(x)$  меньше некоторого  $k < \omega$ , и также мощность каждого выпуклого класса отрицания этой формулы меньше некоторого  $m < \omega$ .

Возьмём  $\psi(x, a, b)$  такую, что  $(a_\alpha, b_\alpha) \cap \psi(x, a, b)$  бесконечно и не совпадает с  $(a_\alpha, b_\alpha)$ . Тогда существуют  $m, k < \omega$  такие, что мощность каждого выпуклого класса формулы  $\psi(x)$  меньше, чем  $k$ , и мощность каждого выпуклого класса  $\neg\psi(x)$  меньше, чем  $m$ . Тогда мы можем определить  $(k-1)$  1-формул:  $\psi^1(x) := \psi(x) \wedge \exists y (y < x \wedge \neg\psi(y) \wedge \forall v (v < x \rightarrow v \leq y))$ ,  $\psi^2(x) := \psi(x) \wedge \exists y (y < x \wedge \psi^1(y) \wedge \forall v (v < x \rightarrow v \leq y))$ , ...,  $\psi^{i-1}(x) := \psi(x) \wedge \exists y (y < x \wedge \psi^{i-2}(y) \wedge \forall v (v < x \rightarrow v \leq y))$ .

Рассмотрим следующее множество 1-формул над  $\{a_\alpha, b_\alpha\}$ :

$$p_0(x, a_\alpha, b_\alpha) := \{\exists y_1 \exists y_2 \dots \exists y_n \exists z_1 \dots \exists z_n (a_\alpha < y_1 < \dots < y_n < x < z_1 < \dots < z_n < b_\alpha) \mid n < \omega\}.$$

Пусть  $G$  – множество 1-формул над  $\{a_\alpha, b_\alpha\}$ , имеющих непустое пересечение с  $p_0(\mathfrak{M})$ , и всякий выпуклый класс этой 1-формулы содержит только один элемент. Можем считать, что для всякой 1-формулы  $\psi(x) \in G$  существует  $m_\psi < \omega$  такой, что между двумя элементами удовлетворяющими  $\psi(x)$ , лежит ровно  $m_\psi - 2$  элементов, не удовлетворяющих  $\psi(x)$ . В противном случае, 1-формуле  $\neg\psi(x)$  удовлетворяют все элементы интервала  $(a_\alpha, b_\alpha)$ , согласно условиям построения последовательности  $\langle a_i, b_i \rangle_{i < \alpha}$ . Пусть  $c$  – произвольный элемент из  $p_0(\mathfrak{M})$  и  $p := tp(c \mid a_\alpha, b_\alpha)$ .

**Лемма 5.** Множество  $G_p := \{\psi(x) \in G \mid \psi(x) \in p\}$  конечно.

**Доказательство леммы 5.** Пусть  $S_p := \{(\psi_i(x), m_i) \mid \psi_i(x) \in G_p, m_i < \omega\}$ , здесь  $m_i - 1$  – это число элементов между соседними элементами  $\psi_i$  такими, что для любых  $i < j < \omega$ ,  $m_i < m_j$ . Возможны следующие два случая:

1) Существует бесконечное число взаимно простых чисел.

2) Существует подмножество  $S_0 \subset S_p$  такое, что  $\psi_i(x), \psi_j(x) \in S_0$ , если  $i < j$ , тогда существует  $m_j$  делящееся на  $m_i$ . Мы показываем, что множество  $S_0$  бесконечно. Пусть  $\psi_i(x), \psi_j(x) \in G_p$  с соответствующими  $m_i$  и  $m_j$ , и пусть  $r < \omega$  будет наибольшим общим делителем чисел  $m_i$  и  $m_j$  ( $m_i = r * m_i', m_j = r * m_j'$ ). Тогда  $r * m_i' * m_j'$  есть наибольшее число такое, что между двумя элементами, удовлетворяющими  $\psi_i(x) \wedge \psi_j(x)$ , лежит ровно  $r * m_i' * m_j' - 1$  элементов из  $M \setminus (\psi_i(M) \cap \psi_j(M))$ . Это означает, что  $\psi_i(x) \wedge \psi_j(x) \in G_p$  с  $r * m_i' * m_j'$ . Рассмотрим новую нумерацию множества  $S_0$  с помощью множества всех натуральных чисел, тогда для всякого  $i < \omega$  есть  $k_i < \omega$  такой, что  $m_{i+1} = m_i * k_i$ .

1) Пусть множество  $K \subset \omega$  такое, что для любых  $i \neq j \in K$ ,  $m_i$  и  $m_j$  не имеют общих делителей. Пусть  $B \subset K$  – произвольное подмножество счётного множества  $K$ . Рассмотрим  $q_B := \{\wedge_{i \in I} \psi_i(x) \wedge \wedge_{j \in J} \neg \psi_j(x) \mid I \subset_{finite} B, J \subset_{finite} (K \setminus B)\}$ . Для любого  $B \subset K$ ,  $q_B$  является совместным множеством 1-формул. Действительно, для произвольного конечного множества  $I \subset N$  рассмотрим элемент  $c_1 (c < c_1)$  такой, что между  $c$  и  $c_1$  находится ровно  $\prod_{i \in I} m_i$  элементов. Из определения  $m_i$  следует что  $\mathfrak{M} \models \wedge_{i \in I} \psi_i(c_1)$  и для любых  $j \in K \setminus I$ ,  $\mathfrak{M} \models \neg \psi_j(c_1)$ . Так как счётное множество  $K$  имеет континуум подмножеств, и, следовательно, существует континуум 1-типов над конечным множеством. Для малой теории это невозможно.

2) Для любого  $d \in p_0(M)$  и любого  $i < \omega$  определим  $l_i (0 \leq l_i < k_i)$ : пусть  $d_i^1, d_i^2$  такие, что  $\mathfrak{M} \models \psi_i(d_i^1) \wedge \psi_i(d_i^2) \wedge (d_i^1 \leq d < d_i^2) \wedge \forall x (d_i^1 < x < d_i^2 \rightarrow \neg \psi_i(x))$ . Интервал  $[d_{i+1}^1, d_{i+1}^2)$  содержит  $k_i$  интервалов длины  $m_i$ . Пронумеруем все интервалы длины  $m_i$ , и сопоставим  $l_i$  номеру интервала содержащего  $d$ . Действительно,  $[d_{i+1}^1, d_{i+1}^2) = [d_{i,0}^1, d_{i,0}^2) \cup [d_{i,1}^1, d_{i,1}^2) \cup \dots \cup [d_{i,j}^1, d_{i,j}^2) \cup \dots \cup [d_{i,k-1}^1, d_{i,k-1}^2)$ ,  $d_{i+1}^1 = d_{i,0}^1$ ,  $d_{i,0}^2 = d_{i,1}^1$ , ...,  $d_{i,k-1}^2 = d_{i+1}^2$ . Так как  $d \in [d_{i+1}^1, d_{i+1}^2)$ , существует  $j (0 \leq j \leq (j-1))$  такой, что  $d \in [d_{i,j}^1, d_{i,j}^2)$ . Тогда  $[d_{i,j}^1, d_{i,j}^2) = [d_i^1, d_i^2)$  и обозначим  $l_i(d) = j$ . Таким образом, для произвольного  $d \in p_0(M)$  существует счётная последовательность  $\tau_d := \langle l_0(d), l_1(d), l_2(d), \dots, l_i(d), \dots \rangle_{i < \omega}$ , где  $0 \leq l_i(d) \leq k_i - 1$ . Заметим, что элемент определяет последовательность  $\tau_c = \langle l_0(c), l_1(c), \dots, l_i(c), \dots \rangle_{i < \omega}$  такую, что для любого  $i$  имеем  $l_i(c) = 0$ . So,  $\tau_c = \langle 0, 0, \dots \rangle$ .

Пусть  $\tau = \langle l_0(\tau), l_1(\tau), \dots, l_i(\tau), \dots \rangle_{i < \omega}$  – произвольная последовательность натуральных чисел такая, что  $0 \leq l_i(\tau) \leq k_i - 1$ . Тогда рассмотрим множество 1-формул

$q_\tau(x) := p_0(x) \cup \{\theta_i^\tau(x) \mid i < \omega\}$ , где  $\theta_i^\tau(x) := \exists y_0 \exists y_1 \dots \exists y_{k_i} (y_0 < y_1 < \dots < y_{k_i} \wedge \psi_{i+1}(y_0) \wedge \psi_{i+1}(y_{k_i}) \wedge \forall z (y_0 < z < y_{k_i} \rightarrow \neg \psi_{i+1}(z)) \wedge \bigwedge_{0 \leq j \leq k_i} \psi_i(y_j) \wedge y_{l_i(\tau)} \leq x < y_{l_i(\tau)+1})$ . Для 1-формулы  $\theta_i^\tau(x)$  её класс выпуклости содержит ровно  $m_i - 1$  элементов. Для любой последовательности натуральных чисел  $\tau$  с условием что для любого  $i < \omega$ ,  $0 \leq l_i < k_i$  множество 1-формул  $q_\tau$  совместно. Пусть  $\tau_1 \neq \tau_2$  – две последовательности натуральных чисел такие, что  $l_i(\tau_1) \neq l_i(\tau_2)$ . Так как выпуклые классы этих формул не имеют общих элементов, то  $\mathfrak{M} \models \neg \exists x (\theta_i^{\tau_1}(x) \wedge \theta_i^{\tau_2}(x))$ . Таким образом, существует континуум 1-типов над  $\{a_\alpha, b_\alpha\}$ , что противоречит условию малости теории  $T$ .

■ Лемма 5

Из леммы 5 следует, что множество  $G_p = \{\psi_1(x), \psi_1(x), \dots, \psi_s(x)\}$  конечно. Пусть  $m_i$  – соответствующее натуральное число для 1-формулы  $\psi_i(x)$  ( $1 \leq i \leq s$ ) такое, что между двумя соседними реализациями  $\psi_i(x)$  лежит  $m_i - 1$  элементов, не удовлетворяющих  $\psi_i(x)$ . Пусть  $r < \omega$  – наибольший общий делитель  $\{m_1, m_2, \dots, m_s\}$  ( $m_i = r * m_i'$ ,  $1 \leq i \leq s$ ). Тогда  $m_p = r * \prod_{1 \leq i \leq s} m_i'$ . Пусть  $\varphi(x, y) := \exists z_1 \exists z_2 \dots \exists z_{m_p} (y < z_1 < z_2 < \dots < z_{m_p} \wedge y \leq x \leq z_{m_p} \wedge \forall v (y < v \leq z_{m_p} \rightarrow \bigvee_{1 \leq j \leq m_p} v = z_j))$ .

Из определения 3 следует, что  $\varphi(x, y)$  является квази-следованием на типе  $p$ .

■ Теорема 4

**Предложение 6.** Существует плотная, линейно упорядоченная структура, на которой определена 2-формула  $\varphi(x, y)$  со свойством квази-следования на 1-типе.

**Доказательство предложения 6.** Рассмотрим упорядоченную структуру  $(\mathbb{Q}, =, <, +)$ , теория которой является  $o$ -минимальной [15]. Рассмотрим обогащение данной структуры  $\mathbb{Q}^+ = (\mathbb{Q}, =, <, +, U^1)$ , такое, что  $U^1(\mathbb{Q}^+) = \{b \in \mathbb{Q} \mid (\mathbb{R}, =, <) \models 0 \leq b < \sqrt{2}\}$ . Данная теория слабо  $o$ -минимальна [1, 16–18]. Для формулы  $\varphi(x, y) = (y \leq x \wedge U(x - y))$  и любого элемента  $\alpha$  из множества  $\mathbb{Q}^+$ , формула  $\varphi(x, \alpha)$  является выпуклой формулой со следующим свойством: для любого  $\beta$  верно  $\varphi(\beta, \alpha)$  и следует  $\mathbb{R} \models \beta < \alpha + \sqrt{2}$ . Ограничение структуры  $\mathbb{Q}^+$  до  $\mathbb{Q}' = (\mathbb{Q}, =, <, \varphi(x, y))$  при помощи формулы  $\varphi(x, y)$  будет слабо  $o$ -минимальным, так как система формульных множеств  $\mathbb{Q}'$  является подсистемой формульных множеств  $\mathbb{Q}^+$ . Так как любые два элемента  $\alpha, \beta \in \mathbb{Q}'$  переводятся автоморфизмом, поэтому  $tp(\alpha/\emptyset) = tp(\beta/\emptyset)$ . Таким образом, это искомым 1-тип с квази-следованием.

■ Предложение 6

**Заключение.** Основным результатом является существование 1-типов со свойством квази-следования как с плотным упорядочением, так и с дискретным. Применение метода изучения моделей полных теорий, используя 1-типы с квази-следованием, дает возможность выделять теории с максимальным счётным спектром. Что в свою



очередь позволяет переходить к изучению упорядоченных теорий с отсутствием 1-типа с квази-следованием. Это в конечном итоге дает возможность изучения счётного спектра упорядоченных теорий.

**Информация о финансировании.** Исследование финансируется Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан (Грант № АР09058169).

## ЛИТЕРАТУРА

1 Macpherson D., Marker D., Steinhorn C. Weakly o-minimal structures and real closed fields, *Transactions of the American Mathematical Society*, 352 (2000), 5435–5483.

2 Baizhanov B.S. Orthogonality of one-types in weakly o-minimal theories, *Algebra and Model Theory 2. Collection of papers*, eds.: A.G. Pinus, K.N. Ponomaryov. Novosibirsk, NSTU, 1999, 5–28.

3 Baizhanov B.S. One-types in weakly o-minimal theories, *Proceedings of Informatics and Control Problems Institute, Almaty*, (1996), 77–90.

4 Байжанов Б.С. Определимость 1-типов в слабо о-минимальных теориях, *Матем. тр.*, 8:2 (2005), 3–38.

5 Baizhanov B.S., Kulpeshov B.Sh. On behaviour of 2-formulas in weakly o-minimal theories, *Mathematical Logic in Asia, Proceedings of the 9th Asian Logic Conference*, eds.: S. Goncharov, R. Downey, H. Ono, World Scientific, Singapore (2006), 31-40. <https://doi.org/10.1142/97898127727490003>.

6 Mayer L. Vaught’s conjecture for o-minimal theories, *Journal of Symbolic Logic*, 53:1 (1988), 146–159. <https://doi.org/10.2307/2274434>.

7 Kulpeshov B.Sh., Sudoplatov S.V. Vaught’s conjecture for quite o-minimal theories, *Annals of Pure and Applied Logic*, 168:1 (2017), 129–149. <https://doi.org/10.1016/j.apal.2016.09.002>.

8 Alibek A., Baizhanov B.S., Kulpeshov B.Sh., Zambarnaya T.S. Vaught’s conjecture for weakly o-minimal theories of convexity rank 1, *Annals of Pure and Applied Logic*, 169:11 (2018), 1190-1209. <https://doi.org/10.1016/j.apal.2018.06.003>.

9 Moconja S., Tanovic P. Stationarily ordered types and the number of countable models, *Annals of Pure and Applied Logic*, 171:3 (2019), 102765. <https://doi.org/10.1016/j.apal.2019.102765>.

10 Kulpeshov B.Sh. Vaught’s conjecture for weakly o-minimal theories of finite convexity rank, *Izvestiya: Mathematics*, 84:2 (2020), 324–347. <https://doi.org/10.1070/IM8894>.

11 Alibek A.A., Baizhanov B.S., Zambarnaya T.S. Discrete order on a definable set and the number of models, *Mathematical Journal*, 14:3 (2014), 5–13.

12 Baizhanov B., Baldwin J.T., Zambarnaya T. Finding  $2^{\aleph_0}$  countable models for ordered theories, *Siberian Electronic Mathematical Reports*, 15:7 (2018), 719–727. <https://doi.org/10.17377/semi.2018.15.057>.

13 Baizhanov B., Umbetbayev O., Zambarnaya T. Non-existence of uniformly definable family of convex equivalence relations in an 1-type of small ordered theories and maximal number of models, *Kazakh Mathematical Journal*, 19:4 (2019), 98–106.

14 Baizhanov B.S., Zambarnaya T. Infinite discrete chains and the maximal number of countable models, *Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science*. 112:4 (2021), 46–56.

15 Pillay A., Steinhorn C. Definable sets in ordered structures. I, *Transactions of the American Mathematical Society*, 295:2 (1986), 565–592.

16 Байжанов Б.С. Расширения о-минимальных структур выпуклыми унарными предикатами, В книге: «Исследования по теории алгебраических систем», посвященной памяти Т.Г. Мустафина, Карагандинский государственный университет, (1995), 6–24.

17 Baizhanov B.S. Expansion of a model of a weakly o-minimal theory by a family of unary predicates, *The Journal of Symbolic Logic*, 66 (2001), 1382–1414 (First version of this paper: “Classification of 1-types of weakly o-minimal theories and its applications”, 1996). <https://doi.org/10.2307/2695114>.

18 Baizhanov B.S., Kulpeshov B.Sh., Zambarnaya T.S. A.D. Taimanov and model theory in Kazakhstan, *Siberian Electronic Mathematical Reports*, 17 (2020), 1–58. <https://doi.org/10.33048/semi.2020.17.011>

## REFERENCES

1 Macpherson D., Marker D. and Steinhorn C. Weakly o-minimal structures and real closed fields, *Transactions of the American Mathematical Society*, 352 (2000), 5435–5483.

2 Baizhanov B.S. Orthogonality of one-types in weakly o-minimal theories, *Algebra and Model Theory 2. Collection of papers*, eds.: A.G. Pinus, K.N. Ponomaryov. Novosibirsk, NSTU, 1999, 5–28.

3 Baizhanov B.S. One-types in weakly o-minimal theories, *Proceedings of Informatics and Control Problems Institute, Almaty*, (1996), 77–90.

4 Baizhanov B.S. Definability of 1-Types in Weakly o-Minimal Theories, *Mat. Tr.*, 8:2 (2005), 3–38. (In Russian).

5 Baizhanov B.S., Kulpeshov B.Sh. On behaviour of 2-formulas in weakly o-minimal theories, *Mathematical Logic in Asia, Proceedings of the 9th Asian Logic Conference*, eds.: S. Goncharov, R. Downey, H. Ono, World Scientific, Singapore (2006), 31-40. <https://doi.org/10.1142/97898127727490003>.

6 Mayer L. Vaught’s conjecture for o-minimal theories, *Journal of Symbolic Logic*, 53:1 (1988), 146–159. <https://doi.org/10.2307/2274434>.

7 Kulpeshov B.Sh., Sudoplatov S.V. Vaught’s conjecture for quite o-minimal theories, *Annals of Pure and Applied Logic*, 168:1 (2017), 129–149. <https://doi.org/10.1016/j.apal.2016.09.002>.

8 Alibek A., Baizhanov B.S., Kulpeshov B.Sh. and Zambarnaya T.S. Vaught’s conjecture for weakly o-minimal theories of convexity rank 1, *Annals of Pure and Applied Logic*, 169:11 (2018), 1190-1209. <https://doi.org/10.1016/j.apal.2018.06.003>.

9 Moconja S., Tanovic P. Stationarily ordered types and the number of countable models, *Annals of Pure and Applied Logic*, 171:3 (2019), 102765. <https://doi.org/10.1016/j.apal.2019.102765>.

10 Kulpeshov B.Sh. Vaught’s conjecture for weakly o-minimal theories of finite convexity rank, *Izvestiya: Mathematics*, 84:2 (2020), 324–347. <https://doi.org/10.1070/IM8894>.

11 Alibek A.A., Baizhanov B.S. and Zambarnaya T.S. Discrete order on a definable set and the number of models, *Mathematical Journal*, 14:3 (2014), 5–13.

12 Baizhanov B., Baldwin J.T. and Zambarnaya T. Finding  $2^{\aleph_0}$  countable models for ordered theories, *Siberian Electronic Mathematical Reports*, 15:7 (2018), 719–727. <https://doi.org/10.17377/semi.2018.15.057>.

13 Baizhanov B., Umbetbayev O. and Zambarnaya T. Non-existence of uniformly definable family of convex equivalence relations in an 1-type of small ordered theories and maximal number of models, *Kazakh Mathematical Journal*, 19:4 (2019), 98–106.

14 Baizhanov B.S., Zambarnaya T. Infinite discrete chains and the maximal number of countable models, *Journal of Mathematics, Mechanics and Computer Science*. 112:4 (2021), 46–56.

15 Pillay A., Steinhorn C. Definable sets in ordered structures. I, *Transactions of the American Mathematical Society*, 295:2 (1986), 565–592.

16 Baizhanov B.S. Expansions of o-minimal structures by convex unary predicates, In book: “Issledovaniya po teorii algebraicheskikh sistem” [Studies on theory of algebraic systems] dedicated to the memory of T.G. Mustafin, Karaganda State University. – 1995, 6-24. (In Russian).

17 Baizhanov B.S. Expansion of a model of a weakly o-minimal theory by a family of unary predicates, The Journal of Symbolic Logic, 66 (2001), 1382– 1414 (First version of this paper: “Classification of 1-types of weakly o-minimal theories and its applications”, 1996). <https://doi.org/10.2307/2695114>.

18 Baizhanov B.S., Kulpeshov B.Sh., and Zambarnaya T.S. A.D. Taimanov and model theory in Kazakhstan, Siberian Electronic Mathematical Reports, 17 (2020), 1–58. <https://doi.org/10.33048/semi.2020.17.011>.

**Б. С. БАЙЖАНОВ<sup>1,2</sup>, Т. С. ЗАМБАРНАЯ<sup>1</sup>, О. А. УМБЕТБАЕВ<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>Математика және математикалық модельдеу институты,  
050010, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>SDU University, 040900, Қаскелең қ., Қазақстан

<sup>3</sup>Қазақстан-Британ техникалық университеті, 050000, Алматы қ., Қазақстан

\*E-mail: [umbetbayev@math.kz](mailto:umbetbayev@math.kz)

## ШАҒЫН РЕТТЕЛГЕН ТЕОРИЯЛАР МЕН 1-ТИПТЕГІ КВАЗИ-МҰРАГЕРДІҢ ҚАСИЕТТЕРІ

Мақала реттелген шағын теориялардағы 1-типтердің қасиеттеріне арналған, атап айтқанда, бүтін сандардағы, тізбектелу функциясы ұғымын кейбір жалтылауы - квази-мұрагер ұғымына. Мақалада дискрет және тығыз ретте 1- типтер мысалдары келтірілген, онда  $f(x, y)$  2-формуласы әсер етеді, бұл квази-мұрагер. Квази-мұрагер ұғымын алғаш рет авторлар алдыңғы еңбектерінде енгізген. Анықталатын сызықтық реті бар теориялардың санақты модельдерінің қасиеттері мен санын есептеу мәселелерін көптеген ғалымдар зерттеді, олардың ішінде Л. Майер, С.В. Судоплатов, Б.Ш. Кулпешов, Б.С. Байжанов, А. Алибек, Т.С. Замбарная, С. Моконя және П. Танович. Мұрагер қасиеттері бар формулалар санақты модельдерінің максимумын зерттеуде маңызды рөл атқарады. Оқишауланбаған 1-тип үшін компакттық теореманы қолдана отырып,  $\omega^*$  +  $\omega$  типті шексіз дискретті реті бар модель құруға болады. Осы дискретті ретте квази-мұрагер қасиеті бар толық 1-типті ажыратуға болады. Максималды санақты спектрі бар теориялардың ішкі класының толық сипаттамасы анықталған сызықтық реті бар теориялар үшін мүмкін болатын санақты спектрін сипаттауға мүмкіндік береді.

**Түйін сөздер:** шағын теория, дискрет рет, сызықтық рет, 1-типтер.

**B. S. BAIZHANOV<sup>1,2</sup>, T. S. ZAMBARNAYA<sup>1</sup>, O. A. UMBETBAYEV<sup>1,3</sup>**

<sup>1</sup>Institute of Mathematics and Mathematical Modeling, 050010, Almaty, Kazakhstan

<sup>2</sup>SDU University, 040900, Kaskelen, Kazakhstan

<sup>3</sup>Kazakh-British Technical University, 050000, Almaty, Kazakhstan

\*E-mail: [umbetbayev@math.kz](mailto:umbetbayev@math.kz)

## SMALL ORDERED THEORIES AND QUASI-SUCCESSOR PROPERTIES ON 1-TYPE

The article is dedicated to the properties of 1-types in small ordered theories, specifically focusing on a particular generalization of the concept of a successor function on integers known as a quasi-successor.

*The article includes examples of 1-types, present in both discrete and dense orders, on which the 2-formula  $\varphi(x, y)$  acts, which is a quasi-successor. For the first time, the concept of quasi-successor was introduced by the authors in their previous works. The problems of properties and counting the number of countable models of theories with a definable linear order have been studied by many scientists, among them L. Mayer, S.V. Sudoplatov, B.Sh. Kulpeshov, B.S. Baizhanov, A. Alibek, T.S. Zambarnaya, S. Moconja and P. Tanovic. Formulas with properties of succession play an important role in the study of the case of maximal countable models. Using the compactness theorem for a non-isolated 1-type, it is possible to construct a model in which there is an infinite discrete order of the type  $\omega^* + \omega$ . On this discrete order, a complete 1-type with the quasi-successor property can be distinguished. A complete description of the subclass of theories having the maximal countable spectrum opens up the possibility of describing a possible countable spectrum for theories with a definable linear order.*

**Keywords:** *small theory, discrete order, linear order, 1-types.*

**ALIKHAN ZHARBOLOV***National Physics and Mathematics School, Almaty, Kazakhstan.**E-mail: zharbolov@gmail.com***THE RANK OF THE NUMBERS OF THE A-FUNCTION**

*The famous Indian mathematician D. Kaprekar came up with a method for obtaining new numbers  $K(n) = n + S(n)$  where  $S(n)$  is the sum of the digits of a number  $n$  in decimal notation. Following D. Kaprekar, the paper presents a new way to obtain numbers*

$$A(n) = \frac{1}{9}(n - S(n)).$$

*It is proved that the function  $A(n)$  is non-decreasing. Similarly to the function  $K(n)$ , the concepts of  $a$ -generated and  $a$ -self-generated numbers are defined. The rank of numbers is investigated and it is proved that the rank function is non-decreasing. The rank formula for the numbers  $n = 10^s$*

**Keywords:** *D.K.Kaprekar, self-corrected numbers, A – function.*

**1. Introduction.** The Indian mathematician D.R.Kaprekar discovered several remarkable classes of natural numbers, such as the Kaprekar constant[1], Kaprekar numbers[2], Harshad numbers, Demlo numbers[3].

Another outstanding discovery of D.Kaprekar is the class of self-generated numbers. It is described by the famous popularizer of science Martin Gardner in his book “Time Travel”[4]. Let’s choose any natural number  $n$  and add to it the sum of its digits  $S(n)$ . The resulting number  $K(n) = n + S(n)$  is called the generated number, and the original number is called its generator. For example, if we choose the number 65, then the number generated by it is  $65 + 6 + 5 = 76$ .

A generated number can have more than one generator. The smallest number with two generators is 101, and its generators are the numbers 91 and 100. A self-generated number is a number that does not have a generator. A 1974 article in American Mathematical Monthly[5] argued that there are infinitely many self-generated numbers, but they are much rarer than generated numbers. Within the first hundred, there are only 13 self-generated numbers: 1, 3, 5, 7, 9, 20, 31, 42, 53, 64, 75, 86, 97. Among the powers of the number 10 million, i.e. 10 is a self-generated number. The next power of a million to the power of ten, which is a self-generated number, is  $10^{16}$ .

These discoveries of D.Kaprekar interested many mathematicians, and in different countries of the world there were many scientific articles, scientific projects in mathematics, software products in which various new properties of the «Kaprekar constant» and sets of self-generated numbers and generated numbers were investigated. These works were carried out not only by scientists, but also by many high school students. There are also many Olympiad problems in mathematics related to  $n$ ,  $S(n)$ . Therefore, I believe that these discoveries of D.Kaprekar greatly raised the interest of young people in mathematics.

In this paper, a new method of obtaining integers is introduced. The difference between a number and the sum of its numbers  $n - S(n)$  is always divisible by 9. Therefore, the new

function for obtaining integers is defined as follows:  $A(n) = \frac{1}{9}(n - S(n))$ . It is proved that the function  $A(n)$  is non-decreasing. Similar to Kaprekar, for the case of a function  $A(n)$ , classes of a-generated and a-self-generated numbers are defined. The rank of the numbers of the function  $A(n)$  is investigated and it is shown that the rank function is a non-decreasing function. The smallest and largest number of a given rank  $s$  are found, where  $1 \leq s \leq 15$ . We derived the rank formula for the numbers  $n = 10^s$  where  $s \in \mathbb{N}$ .

**2. Formula  $A(n)$ .** Let and  $N = \{1, 2, 3, \dots\}$  be a set of natural numbers. Let us denote  $N_0 = N \cup \{0\}$  through - the set of non-negative integers. Throughout this work, the number system is decimal. Let  $n \in N$  and

$$n = \alpha_0 + \alpha_1 \cdot 10 + \dots + \alpha_k \cdot 10^k = \sum_{i=1}^k \alpha_i \cdot 10^i, \text{ where } \alpha_k \neq 0.$$

Let's denote the sum of the digits of the number  $n$  by

$$S(n) = \alpha_0 + \alpha_1 + \dots + \alpha_k = \sum_{i=0}^k \alpha_i.$$

The difference between the number and the sum of its digits  $n - S(n)$  is a multiple of 9. Therefore, in this paper, a new function for obtaining integers is introduced.

$$A(n) = \frac{1}{9}(n - S(n)), \text{ where } n \in N, A(n) \in N_0 \tag{1}$$

**Definition.** Let  $A(n) = m$ , where  $m, n \in N_0$ . The number  $m$  is called a - generated number, and the number  $n$  is called its a - generator. A-Generated number can have multiple generators. If a number  $p$  does not have a-generators, then it is called a-self number. Examples of a are self-generated numbers: 10, 20, 32, 109, 110, 1108, 1109, 1110 and others.

**Definition.** Let  $m, n \in N, m < n$ ,

$$m = \sum_{j=0}^k \beta_j \cdot 10^j, \quad n = \sum_{i=0}^k \alpha_i \cdot 10^i, \quad \alpha_k \neq 0.$$

Let  $\alpha_i - \beta_i = 0$  if  $i = l + 1, l + 2, \dots, k$ , but  $\alpha_l - \beta_l \geq 1$ . Then the number  $l$  is called the «difference» of the powers of the numbers  $n$  and  $m$  and is denoted by

$$l(n, m) = l$$

**Theorem 1.**  $A(n) - A(m) \geq l(n, m)$ .

**Proof.**  $A(n) - A(m) = \frac{1}{9}(n - S(n)) - \frac{1}{9}(m - S(m)) = \frac{1}{9}(n - m - (S(n) - S(m))) =$   
 $= \frac{1}{9} \left( \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \beta_i) \cdot 10^i - \sum_{j=1}^l (\alpha_j - \beta_j) \cdot 10^j \right) = \frac{1}{9} \left( \sum_{i=1}^l (\alpha_i - \beta_i) \cdot (10^i - 1) \right) \geq$



$$\begin{aligned} &\geq \frac{1}{9} \left( (10^l - 1) - 9 \cdot \sum_{i=0}^{l-1} (10^i - 1) \right) = \frac{1}{9} (10^l - 1 - 9 \cdot (1 + 10 + \dots + 10^{l-1} - l)) = \\ &= \frac{1}{9} \left( 10^l - 1 - 9 \cdot \left( \frac{10^l - 1}{10 - 1} - l \right) \right) = \frac{1}{9} (10^l - 1 - 10^l + 1 + 9l) = l. \end{aligned}$$

So,

$$A(n) - A(m) \geq l.$$

Theorem 1 is proved.

From the condition that  $m < n$  of theorem 1 it follows that  $A(m) + l \leq A(n)$ , where  $l \geq 0$ . Therefore  $A(m) \leq A(n)$ . This shows that the following are true

**Corollary 1.** The function  $A(n)$  is non-decreasing.

**3. The rank of the numbers.** Let's denote through  $A^{(s)}(n) = \underbrace{A(A \dots (A(n)) \dots)}_s$ .

**Definition.** The smallest natural number  $s$  such that is called  $A^{(s)}(n) = 0$  the rank of the number  $n: r(n) = s, n \in N_0$ . Let's note that

$$A(n) < \frac{n}{9}, \quad A^{(2)}(n) < \frac{n}{9^2}, \dots, \quad A^{(s)}(n) < \frac{n}{9^s}.$$

Therefore, for a natural number  $s$  such that  $9^s > n$ , we get  $A^{(s)}(n) = 0$ . This shows that any number  $n, n \in N_0$  has a positive finite rank.

**Theorem 2.** The rank function  $r(n)$  – is non-decreasing.

**Proof.** Let  $n_1, n_2 \in N_0$  and  $n_1 < n_2$ .

Next, let  $r(n_2) = s$ , i.e.  $A^{(s)}(n_2) = 0$ . Using corollary 1, the function  $A(n)$  – is a non-decreasing function and using this property we repeatedly obtain

$$\begin{aligned} A(n_1) &\leq A(n_2) \\ A(A(n_1)) &\leq A(A(n_2)) \\ &\dots \dots \dots \\ A^{(s)}(n_1) &\leq A^{(s)}(n_2) = 0. \end{aligned}$$

Therefore  $A^{(s)}(n_1) = 0$ .

Therefore  $r(n_1) \leq r(n_2)$ . So, from the condition that  $n_1 \leq n_2$  it follows that

$$r(n_1) \leq r(n_2).$$

This shows that the rank function of the number  $r(n)$  – is non-decreasing.

**Theorem 3.** Let  $r(10^m) = s$ , where  $m \in N$ . Then  $r(10^{m+1} - 1) \geq s + 1$ .

**Proof.** From the condition of theorem 3 it follows that

$$A^{(s)}(10^m) = 0 \quad \text{and} \quad A^{(s-1)}(10^m) > 0.$$

If  $m = 1$ , then the statement of the theorem is obvious.

Further, let  $m \geq 2$ .

$$A(10^{m+1} - 1) = A\left(\frac{99 \dots 9}{m+1}\right) = \frac{1}{9} \left( \frac{99 \dots 9}{m+1} - 9(m+1) \right) = \frac{11 \dots 1}{m+1} - (m+1) > 10^m.$$

Then, by virtue of the non-decreasing function  $A(n)$  (corollary 1), we obtain that

$$A^{(2)}(10^{m+1} - 1) \geq A(10^m),$$

$$A^{(3)}(10^{m+1} - 1) \geq A^{(2)}(10^m),$$

... ..

$$A^{(s)}(10^{m+1} - 1) \geq A^{(s-1)}(10^m) > 0$$

So

$$A^{(s)}(10^{m+1} - 1) > 0,$$

Therefore

$$r(10^{m+1} - 1) \geq s + 1.$$

Theorem 3 is proved.

**Corollary 3.** If  $n \rightarrow +\infty$ , then  $\text{rank } r(n) \rightarrow +\infty$ .

**Definition.** The smallest number of a given rank  $s$  is denoted by  $m_s$ . Accordingly, the largest number of a given rank  $s$  is denoted by  $M_s$ .

It follows from the definition that  $M_s + 1 = m_{s+1}$ , where  $s = 1, 2, \dots$

Using a Java program, I made a table of numbers  $m_s$  and  $M_s$ , where  $1 \leq s \leq 15$ :

Table 1.

$s$	$m_s$	$M_s$
1	0	9
2	10	99
3	100	909
4	910	8199
5	8200	73 819
6	73 820	664 399
7	664 400	5 979 639
8	5 979 640	53 816 799
9	53 816 800	484 351 229
10	484 351 230	4 359 161 099
11	4 359 161 100	39 232 449 949
12	39 232 449 950	353 092 049 599
13	353 092 049 600	3 177 828 446 459
14	3 177 828 446 460	28 600 456 018 189
15	28 600 456 018 190	

For example, numbers 10, 909, 73819, from this table, are a-self numbers.

This fact makes it difficult to find a general formula for  $m_s$  and  $M_s$ . So, I propose the following problem:

**Problem.** Find a formula that expresses the values for  $m_s$  and  $M_s$ , where

$$s = 1, 2, \dots$$

Let  $n = 10^s$  and  $r(n)$  be its rank. With the help of a program in Java, I got the following results.

$s$	$r(n)$	$s$	$r(n)$
$1 \leq s \leq 22$	$s + 1$	$128 \leq s \leq 148$	$s + 7$
$23 \leq s \leq 43$	$s + 2$	$149 \leq s \leq 168$	$s + 8$
$44 \leq s \leq 64$	$s + 3$	$169 \leq s \leq 189$	$s + 9$
$65 \leq s \leq 85$	$s + 4$	$190 \leq s \leq 210$	$s + 10$
$86 \leq s \leq 106$	$s + 5$	$211 \leq s \leq 231$	$s + 11$
$107 \leq s \leq 127$	$s + 6$		

On the table, the pattern of the rank of numbers  $10^s$ ,  $s \in N$ , is clearly visible. Therefore, we formulate the following

**Hypothesis.** Let  $n = 10^s$ , where  $s \in N$ . Let  $2 + 21t \leq s \leq 22 + 21t$ , where  $t \in N$ .

Then the rank of the number  $n$ :

$$r(n) = s + t + 1.$$

In conclusion, I express my gratitude to the scientific supervisor Vice-President of the National Academy of Sciences under the President of the Republic of Kazakhstan, Academician of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan, A.S. Dzhumadildayev for setting the task and for constant attention during the writing of this work.

## REFERENCES

- 1 Kaprekar, D.R.(1949). "Another Solitaire Game". Scripta Mathematica. 15: 244-245.
- 2 Weisstein, Eric W. "Kaprekar Number". Math World.
- 3 Gunjkar, K.R; Kaprekar, D.R. (1939). "Theory of Demlo numbers"(PDF). J.Univ.Bombay. VIII(3): 3-9.
- 4 Garner, M., "Time travel and other mathematical bewilderments", New Yrok, 1988, 115-117.
- 5 Recaman, B., and Bange, D.W., Columbian numbers, American Mathematical Monthly 81(1974), 407-409.

## A. ЖАРБОЛОВ

Республикалық физика-математика мектебі, Алматы қ., Қазақстан

E-mail: zharbolov@gmail.com

## A-ФУНКЦИЯ САНДАРДЫҢ РАНГІСІ

Белгілі индиялық математик Д.Капрекар жаңа сандарды алудың әдісін тапты:  $K(n) = n + S(n)$  мұнда  $S(n) - n$  санының ондық жүйедегі цифрларының қосындысы. Д.Капрекарға сүйене отырып бұл еңбекте бүтін сандарды алудың жаңа әдісі көрсетілген:

$$A(n) = \frac{1}{9}(n - S(n)).$$

$A(n)$  функциясының кемімейтіндігі дәлелденген.  $K(n)$  функциясына сәйкес бұл жұмыста  $a$ -туындаған және  $a$ -өзіндік туындаған сандар ұғымдары анықталған. Сандардың рангісі зерттеліп, ранг функциясының кемімейтіндігі дәлелденді.  $n = 10^k$  сандарының рангісінің формуласы табылған.

**Түйін сөздер:** Д.Р.Капрекар, өзіндік туындаған сандар, репьюниттер,  $A$ -функция.

### **А. ЖАРБОЛОВ**

Республиканская физико-математическая школа, г. Алматы, Казахстан.

E-mail: zharbolov@gmail.com

### **РАНГ ЧИСЕЛ А-ФУНКЦИЙ**

Известный индийский математик Д. Капрекар придумал способ получения новых чисел  $K(n) = n + S(n)$ , где  $S(n)$  – сумма цифр числа  $n$  в десятичной записи. Следуя Д.Капрекару, в работе представлен новый способ получения чисел:

$$A(n) = \frac{1}{9}(n - S(n)).$$

Доказано, что функция  $A(n)$  неубывающая. Аналогично функции  $K(n)$  определены понятия  $a$ -порожденных и  $a$ -самопорожденных чисел. Исследован ранг чисел и доказано, что функция ранга – неубывающая. Найдена формула ранга для чисел  $n = 10^k$ .

**Ключевые слова:** Д.К.Капрекар, самопорожденные числа,  $A$  – функция.

**М. Т. ТАСОВА\*, А. С. ИБРАЕВ**

*Казахский национальный университет имени аль-Фараби, г. Алматы*

*madina\_tassova@mail.ru; aydos.ybraev@kaznu.edu.kz*

## **ТЕСНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ ГНСС/ИНС**

*В статье исследуется новый алгоритм тесной интеграции ГНСС/ИНС. Основная идея заключается в том, чтобы получить положение пользователя как решение ограниченной версии задачи оптимизации ГНСС, где классическая трехсторонность ограничена измерениями ИНС. Это приводит к линейно ограниченной задаче наименьших квадратов, которая может быть решена в наихудшем случае за полиномиальное время. Эффективность алгоритма была подтверждена путем моделирования в сложных сценариях (а именно, в условиях многолучевости и слабого сигнала) и показала улучшенную производительность по сравнению с автономной ГНСС и ГНСС/ИНС Калмана в тех же условиях.*

**Ключевые слова:** *тесная интеграция, инерциально-спутниковая навигационная система, задача наименьших квадратов, фильтр Калмана.*

**Введение.** Глобальные навигационные спутниковые системы (ГНСС) – это общее понятие, используемое для обозначения систем, позволяющих пользователю вычислять свое местоположение на основе созвездия спутников. Конкретными системами ГНСС являются хорошо известная американская GPS или готовящаяся европейская Галилео. Обе системы основаны на одном и том же принципе: пользователь вычисляет свое местоположение на основе измеренных расстояний между приемником и набором видимых спутников. Эти расстояния рассчитываются с учетом времени распространения сигнала от каждого спутника до приемника [1]. Приемники ГНСС заинтересованы только в оценке задержек сигналов прямого пути, далее называемых сигналами прямой видимости (LOSS), поскольку именно они несут информацию о времени прямого распространения. Однако отражения искажают принимаемый сигнал таким образом, что это может привести к смещению оценок задержки и несущей фазы [2].

Чтобы справиться с этой проблемой, в литературе широко изучается использование инерциальных навигационных систем (ИНС) для улучшения решения о местоположении, предоставляемого обычными приемниками ГНСС [3]. ИНС – это автономный навигатор, который генерирует решение об ориентации, положении и скорости. Датчики, используемые в ИНС, представляют собой триаду гироскопов для измерения вращения и скорости вращения, и триаду акселерометров для измерения ускорений или удельной силы. ИНС представляет собой комбинацию этих датчиков, навигационных алгоритмов и компьютера, на котором компьютер, на котором работают эти алгоритмы.

Алгоритмы ИНС для генерации ориентации, положения и скорости частично включают в себя выполнение математической операции интегрирования выходов этих датчиков. Таким образом, любая ошибка на выходе датчиков приводит к кор-

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [madina\\_tassova@mail.ru](mailto:madina_tassova@mail.ru)

релирированным ошибкам ориентации, положения и скорости, которые потенциально являются неограниченными. Приемник ГНСС, с другой стороны, генерирует оценки положения и скорости с ограниченными ошибками. Их характеристики ошибок дополняют друг друга, что является основной причиной для интеграции систем ГНСС/ИНС во многих приложениях.

Архитектуры интеграции ГНСС/ИНС можно разделить на сверхплотные, плотные и свободные, в зависимости от степени интеграции обеих систем [3]. Сверхплотная архитектура ГНСС/ИНС на основе фильтрации частиц была исследована в [4]. Сложность этого подхода к интеграции очень высока, поэтому мы скорее сосредоточимся на двух альтернативах. При тесной интеграции ГНСС/ИНС сводятся к основным функциям датчиков, то есть псевдодалность, ускорения и гироскопические измерения используются для создания единого смешанного навигационного решения. В отличие от этого, при свободной интеграции ГНСС/ИНС приемник ГНСС и ИНС работают как независимые навигационные системы, оценки положения которых смешиваются для формирования интегрированного решения о третьем положении. В целом, классические жесткие архитектуры обеспечивают более точные решения, чем свободные подходы [3]. Кроме того, тесная интеграция способна продолжать извлекать полезную информацию из приемника ГНСС в ситуациях, когда видно менее четырех спутников. Цель данной работы – предложить архитектуру с пониженной сложностью, которая, хотя и имеет производительность, сравнимую с ультра-плотными подходами, но при этом удобна с точки зрения реализации. По этим причинам мы сосредоточились на тесной интеграции во всей остальной части статьи.

Данная работа организована следующим образом. В разделе 2 представлена модель системы, используемая для описания динамики ГНСС и ИНС. В разделе 3 представлен обзор алгоритмов позиционирования с использованием приемников ГНСС и измерений ИНС, соответственно. Предлагаемый подход к интеграции представлен в разделе 4, где анализируется и обсуждается ограниченная задача наименьших квадратов. Раздел 5 посвящен результатам моделирования, которые подтверждают предложенную архитектуру, и, наконец, в разделе 6 завершает работу.

**Модель системы.** Байесовская оценка предлагает привлекательную основу для совместного рассмотрения измерений ИНС и измерений псевдодалности ГНСС. Это естественный способ учета предварительной информации, предоставляемой ИНС, которая опирается на функцию плотности вероятности, чтобы оценить вектор  $\delta_k$ , учитывая набор доступных измерений до момента времени  $k$ ,  $y_{0:k}$ . Кроме того, это оптимальная основа для работы с динамическими системами, используя подход дискретного пространства состояний. Оценки состояния  $\hat{\delta}_k \in \mathbb{R}^{n_\delta}$  рекурсивно вычисляются с учетом измерений  $y_k \in \mathbb{C}^{n_y}$  в момент времени  $k$ , где  $n_\delta$  и  $n_y$  – размеры векторов состояния и измерений соответственно. Для этого эволюция состояний цели (от которых зависят измерения) моделируется с помощью стохастической модели дискретного времени – уравнения состояния, которое в общем случае имеет вид

$$\delta_k = \Phi_{k-1}(\delta_{k-1}, w_{k-1}), \quad (1)$$

где  $\Phi_{k-1}$  – известная и, возможно, нелинейная функция состояния  $\delta_k$ , а  $w_{k-1}$  называется шумом процесса, который собирает любой эффект рассогласования или возмущения



в характеристике состояния. Связь между измерениями и состояниями моделируется уравнением измерения

$$y_k = \mathbf{H}_k(\delta_k, \mathbf{n}_k), \quad (2)$$

где  $\mathbf{H}_k$  – известная и, возможно, нелинейная функция, а  $\mathbf{n}_k$  называется шумом измерения. Предполагается, что шум процесса и измерения белый, взаимно независимый и с известной статистикой.

**1. Данные ИНС: Уравнение состояния.** Для плотной интеграции рассматривается 16 векторов состояний  $\delta$ . Три состояния инерциальной ошибки задаются для ориентации, скорости, смещения акселерометра, смещения гироскопа, плюс одно состояние для смещения часов приемника, соответственно:

$$\delta = [\delta\psi^{eT} \quad \delta\mathbf{v}^{eT} \quad \mathbf{b}_a^{bT} \quad \mathbf{b}_g^{bT} \quad \delta p^{eT} \quad \delta t]^T. \quad (3)$$

В течение достаточно короткого периода наблюдений предположения о невращающейся и плоской Земле без гравитации являются обоснованными. Устранение гравитации эквивалентно утверждению, что гравитационная модель совершенна. Предполагается, что смещения акселерометра и гироскопа,  $\mathbf{b}_a^b$  и  $\mathbf{b}_g^b$ , и смещение часов приемника,  $\delta t$ , не имеют известного изменения во времени.

Учитывая эти предположения, уравнение состояния (1) ИНС в момент времени с индексом  $k$  допускает линейную аппроксимацию в виде

$$\delta t = \Phi_{k-1}\delta_{k-1} + w_k, \quad (4)$$

где  $\Phi_{k-1}$  – линеаризованная матрица перехода. В любой момент времени удельная сила, измеренная акселерометром,  $f^b$ , и матрица координатного преобразования тела к земному кадру  $\hat{\mathbf{C}}_b^e$  используются для формирования матрицы перехода в следующем виде

$$\Phi = \begin{bmatrix} \mathbf{I}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \hat{\mathbf{C}}_b^e \tau_s & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \Phi_{21} \tau_s & \mathbf{I}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \hat{\mathbf{C}}_b^e \tau_s & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{I}_{3 \times 3} & \mathbf{I}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{I}_{3 \times 3} \tau_s & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{3 \times 3} & \mathbf{I}_{3 \times 3} & \mathbf{0}_{1 \times 3} \\ \mathbf{0}_{1 \times 3} & \mathbf{0}_{1 \times 3} & \mathbf{0}_{1 \times 3} & \mathbf{0}_{1 \times 3} & \mathbf{0}_{1 \times 3} & \mathbf{I}_{1 \times 1} \end{bmatrix} \quad (5)$$

где  $\Phi_{21} = -[(\hat{\mathbf{C}}_b^e f^b) \times]$ ,  $[x \times]$ ,  $[x \times]$  обозначает кососимметричную матрицу  $x$ , а  $\tau_s$  – интервал распространения состояния [5].

Подводя итог, можно утверждать, что ИНС дают нам информацию о временной эволюции интересующих нас переменных.

Основными источниками шумов состояния в решении инерциальной навигации являются случайные блуждания ошибки скорости из-за шумов измерений удельной силы акселерометра и случайные блуждания ошибки ориентации из-за шумов измерений угловой скорости гироскопа. Кроме того, если отдельные состояния динамического смещения акселерометра и гироскопа не оцениваются, изменение во времени смещения акселерометра и гироскопа может быть аппроксимировано как белый

шум. Ковариационная матрица шума состояния,  $\Sigma_w$ , предполагающая 16 состояний, определена в [5].

**2. Данные ГНСС: Уравнение измерений.** При вычислении позиционного решения измерениями являются вычисленные псевдодальности каждого видимого спутника.  $i$ -й псевдодальномер получается после оценки времени прохождения ( $\tau^i$ ), которое требуется сигналу от  $i$ -го спутника для достижения приемника, т.е.  $\rho^i = c\tau^i$ , где  $c$  – скорость света. Модель псевдодальности параметризуется неизвестными координатами положения пользователя ( $\rho = [x, y, z]^T$ ) и смещением часов приемника ( $\delta t$ ) как

$$\rho^i = \varrho^i(\rho) + c(\delta t - \delta t^i) + \epsilon^i, \tag{6}$$

где спутники индексируются  $i = 1, \dots, M$  и применяются следующие определения:

- $\varrho^i(\rho) = \sqrt{(x^i - x)^2 + (y^i - y)^2 + (z^i - z)^2}$  - это геометрическое расстояние между приемником и  $i$ -м спутником.  $\rho^i = [x^i, y^i, z^i]^T$ ) - координаты  $i$ -го спутника в системе координат Земля-Центр-Земля-Фиксация (ЗЦЗФ), которые могут быть вычислены из низкоскоростного навигационного сообщения [1];

- $\delta t$  – смещение часов приемника относительно времени GPS, которое неизвестно;

- $\delta t^i$  – смещение часов спутника  $i$  относительно времени GPS, известное из навигационного сообщения;

- $\epsilon^i$  – это термин, включающий ошибки из различных источников, таких как атмосферные задержки, неправильное моделирование эфемерид, релятивистские эффекты и др.

Решение для одной точки, используемое в обычных приемниках ГНСС, основано на линеаризации геометрической задачи, состоящей в вычислении  $\rho$  и  $\delta t$  из набора  $M$  оцененных псевдодальностей (где  $M \geq 4$ ).

Как и в случае с ИНС, уравнение измерения для измерений ГНСС также может быть линеаризовано, но теперь относительно начальной оценки положения  $\rho_0 = [x_0, y_0, z_0]^T$  как

$$y_k = H_k \delta_k + n_k. \tag{7}$$

Если для простоты убрать временной индекс  $k$ , то измерения ГНСС будут равны

$$y = \begin{bmatrix} \rho^1 + c\delta t^1 - \epsilon^1 - \varrho_0^1 \\ \vdots \\ \rho^M + c\delta t^M - \epsilon^M - \varrho_0^M \end{bmatrix}. \tag{8}$$

В свою очередь, структура матрицы измерений  $H$  является

$$H = TM \triangleq T[0_{4 \times 12} \quad I_{4 \times 4}], \tag{9}$$

где

$$T = \begin{bmatrix} \frac{x^1 - x_0}{\varrho_0^1} & \frac{y^1 - y_0}{\varrho_0^1} & \frac{z^1 - z_0}{\varrho_0^1} & 1 \\ \vdots & \vdots & \vdots & \vdots \\ \frac{x^M - x_0}{\varrho_0^M} & \frac{y^M - y_0}{\varrho_0^M} & \frac{z^M - z_0}{\varrho_0^M} & 1 \end{bmatrix} \tag{10}$$

Заметим, что структура матрицы измерений  $\mathbf{H}$  такова, что из полного вектора состояния  $\delta$ , только уменьшенное подмножество переменных

$$\ell = \mathbf{M}\delta = [\delta\rho^{eT} \quad \delta t]^T \quad (11)$$

воздействует на измерения ГНСС.

Ковариационная матрица шума измерений  $\Sigma_n$  учитывает ошибки слежения ГНСС, многолучевые вариации, шум спутниковых часов и остаточные ошибки синхронизации ГНСС/ИНС. В идеале она должна быть смоделирована как функция  $C/N_0$  и ускорения, хотя часто принимается постоянное значение. Матрица  $\Sigma_n$  является диагональной, при условии, что измерения псевдодальности не сглажены несущей [5].

**3. Современные алгоритмы позиционирования.** В этом разделе представлены два алгоритма позиционирования. В разделе 3.1 представлено автономное решение ГНСС, в котором данные ИНС не используются. В разделе 3.2, напротив, описывается традиционный подход, используемый для тесной интеграции ГНСС/ИНС.

**3.1 Автономная ГНСС: Метод наименьших квадратов.** Учитывая только измерения ГНСС, оценка положения может быть получена с помощью критерия наименьших квадратов (НК)

$$\hat{\ell}_k = \arg \min_{\ell_k} \|y_k - \mathbf{T}_k \ell_k\|_2^2, \quad (12)$$

решение которого дается псевдоинверсом Мура-Пенроуза линейризованной матрицы:  $\hat{\ell}_k = \mathbf{T}_k^\dagger y_k$ .

Существуют и другие варианты оптимизации в (12), более сложные. Например, если каждое наблюдение взвешивается пропорционально качеству предоставленной информации (например, связывая эту меру с полученной мощностью), задача может быть сформулирована как взвешенная НК.

**3.2 Тесный подход ГНСС/ИНС: фильтр Калмана.** Дискретная модель пространства состояний, представленная в разделе 2, является линейной. Поэтому она может быть оптимально обработана фильтром Калмана. Таким образом, апостериорная характеристика обеспечивается его оцененными средним и ковариацией, которые получаются рекурсивно в каждый момент времени

$$\begin{aligned} \hat{\delta}_{k|k-1} &= \Phi_{k-1} \hat{\delta}_{k-1|k-1} \\ \mathbf{P}_{k|k-1} &= \Sigma_{w,k} + \Phi_{k-1} \mathbf{P}_{k-1|k-1} \Phi_{k-1}^T \\ \hat{\delta}_{k|k} &= \hat{\delta}_{k|k-1} + \mathbf{K}_k (y_k - \mathbf{H}_k \hat{\delta}_{k|k-1}) \\ \mathbf{P}_{k|k} &= \mathbf{P}_{k|k-1} - \mathbf{K}_k (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T + \Sigma_{n,k}) \mathbf{K}_k^T \end{aligned} \quad (13)$$

где

$$\mathbf{K}_k = \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T (\mathbf{H}_k \mathbf{P}_{k|k-1} \mathbf{H}_k^T + \Sigma_{n,k})^{-1} \quad (14)$$

матрица усиления Калмана.

Этот алгоритм является эталонным подходом в тесной интеграции данных ГНСС и ИНС.

**4. Тесная интеграция нсс/инс как ограниченная задача наименьших квадратов.** В предлагаемом алгоритме тесной интеграции ГНСС/ИНС решение ГНСС (12) улучшается за счет учета эволюции инерциальных измерений, но другим способом, чем фильтр Калмана. Эффект ИНС заключается в сокращении пространства выполнимых переменных. То есть, оценка  $\hat{\ell}_k$  теперь задается следующим образом

$$\hat{\ell}_k = \arg \min_{\ell_k} \|y_k - T_k \ell_k\|_2^2, \quad (15)$$

$$\text{в зависимости от } |\ell_k| \leq |M\Phi_k \delta_{k-1}|. \quad (16)$$

Несмотря на то, что накопленные ошибки положения, предоставляемые ИНС, растут экспоненциально во времени, ошибки, возникающие мгновенно, в течение каждой длительности интегрирования, действительно ограничены и малы. Таким образом, это существенно ограничивает истинную ошибку положения ГНСС  $\delta \rho_k^e$  в момент времени с индексом  $k$  пространственным трехмерным кубом. Аналогично, дисперсия смещения часов  $\delta t$  также может быть ограничена сверху. Это представлено в (16).

Задача (15) - (16) может быть переписана в следующей более простой форме

$$\hat{\ell}_k = \arg \min_{\ell_k} \|y_k - T_k \ell_k\|_2^2, \quad (17)$$

$$\text{в зависимости от } l_k \leq \ell_k \leq u_k, \quad (18)$$

где  $l_k$  и  $u_k$  - векторы нижней и верхней границ, определяемые как  $l_k = -|M\Phi_k \delta_{k-1}|$  и  $u_k = |M\Phi_k \delta_{k-1}|$ . Очевидно, что происходит интегрирование, поскольку измерения  $y_k$  берутся из ГНСС, а ограничения  $l_k$  и  $u_k$  получаются из ИНС.

Задача (17)-(18) представляет собой линейно ограниченную задачу наименьших квадратов и, следовательно, является выпуклой [6]. Теперь мы получим некоторое представление о структуре  $\hat{\ell}_k$ , рассмотрев его условия Каруша-Куна-Таккера (ККТ).

**4.1 Интерпретация.** Для любой выпуклой задачи оптимизации с дифференцируемыми функциями цели и ограничений точка является оптимальной тогда и только тогда, когда она удовлетворяет условиям ККТ. В частности, для рассматриваемой задачи (17)-(18) эти условия сводятся к

$$\frac{\partial L(\ell_k)}{\partial \ell_k} = 0, \quad (19)$$

$$\lambda_{k_i} (\ell_{k_i} - u_{k_i}) = 0, \quad \lambda_{k_i} \geq 0 \quad i = \{1, \dots, \dim\{\lambda_k\}\}, \quad (20)$$

$$v_{k_i} (l_{k_i} - \ell_{k_i}) = 0, \quad v_{k_i} \geq 0 \quad i = \{1, \dots, \dim\{v_k\}\} \quad (21)$$

где  $L(\ell_k)$  - функция Лагранжа

$$L(\ell_k) = \|y_k - T_k \ell_k\|_2^2 + \lambda_k^T (\ell_k - u_k) + v_k^T (l_k - \ell_k) \quad (22)$$

Таким образом, оптимальная оценка удовлетворяет

$$\hat{\ell}_k = T_k^+ y_k + \frac{1}{2} (T_k^T T_k)^{-1} (v_k - \lambda_k), \quad (23)$$

$$\lambda_{k_i}(\delta_{k_i} - u_{k_i}) = 0 \quad \lambda_{k_i} \geq 0 \quad i = \{1, \dots, 4\}, \quad (24)$$

$$v_{k_i}(l_{k_i} - \delta_{k_i}) = 0 \quad v_{k_i} \geq 0 \quad i = \{1, \dots, 4\}. \quad (25)$$

Исходя из условий ККТ, мы можем получить некоторое представление о поведении предлагаемого метода интеграции ГНСС/ИНС. В основном, можно выделить три режима работы.

Во-первых, если оптимальное неограниченное решение  $i$ -го элемента в  $\ell_k$  лежит между его нижней и верхней границами, то  $\lambda_{k_i} = 0$  и  $v_{k_i} = 0$ , чтобы обеспечить условия в (24) и (25). В этой ситуации оптимальное решение вычисляется с учетом только псевдодальностей ГНСС, пренебрегая измерениями ИНС.

Во-вторых, если оптимальное неограниченное решение  $i$ -го элемента находится выше ограничений,  $v_{k_i} = 0$ . Однако в этой ситуации  $\lambda_{k_i}$  играет роль, принимая значение строго больше 0. Следовательно, решением выпуклой задачи является решение ГНСС с поправочным членом из-за измерений ИНС. Аналогично в случае, когда оптимальное решение находится ниже нижнего ограничения,  $\lambda_{k_i} = 0$  и  $v_{k_i} \geq 0$ . Следует обратить внимание, что это не эквивалентно простому решению неограниченной задачи наименьших квадратов (12) и ограничению решения с помощью  $l_k$  и  $u_k$ .

Поскольку наша задача является выпуклой, сильная двойственность имеет место, и оптимальное решение может быть эквивалентно найдено как

$$\hat{\ell}_k = \max_{\lambda_k \geq 0} \min_{\ell_k, v_k} L(\ell_k, \lambda_k, v_k) \quad (26)$$

Используя двойственное разложение [7], мы можем решить (26) итерационным способом. Полученный алгоритм описан далее.

Алгоритм 1 Ограниченные наименьшие квадраты

Initialize:

$$\lambda_0 = [1_{1 \times 4}]^T$$

$$v_0 = [1_{1 \times 4}]^T$$

for  $j = 1$  to  $N_{\text{iter}}$  do

Initialize:

$$\beta = \frac{1 + m}{j + m}$$

Compute:

$$\hat{\ell}_k = T_k^t y_k + \frac{1}{2} (T_k^H T_k)^{-1} (v_j - \lambda_j)$$

$$\lambda_j = [\lambda_{j-1} + \beta(\hat{\ell}_k - u_k)]^+$$

$$v_j = [v_{j-1} + \beta(l_k - \hat{\ell}_k)]^+$$

end for

Параметр  $\beta = \frac{1+m}{j+m}$  – размер шага, а  $m$  – неотрицательное целое число, значение которого зависит от задачи.

Используя алгоритм 1, явное описание процедуры выполнения предлагаемой интеграции ГНСС/ИНС в течение определенного периода времени  $T_{\text{run}}$  выглядит следующим образом

#### Алгоритм 2 Новая тесная интеграция ГНСС/ИНС

Initialize:

$$\hat{\delta}_0 = [0_{1 \times 16}]^T$$

for  $k = 1$  to  $[T_{\text{run}}/\tau_s]$  do

Initialize:

$$\hat{\delta}_k = \Phi_k \hat{\delta}_{k-1}$$

$$u_k = |M\Phi_k \hat{\delta}_{k-1}|$$

$$l_k = -|M\Phi_k \hat{\delta}_{k-1}|$$

Solve  $\hat{\ell}_k$  using Algorithm 1.

end for

**5. Результаты моделирования.** Хотя формулировка является общей для любой системы ГНСС, моделирование было сосредоточено на сигналах GPS. Эксперимент заключался в сравнении решения, полученного GPS (т.е. уравнения (12), решения, полученного при интеграции коммерческой ИНС с использованием фильтра Калмана, и решения, полученного при интеграции коммерческой ИНС, с учетом решения, приведенного в разделе 4. Здесь и далее первый алгоритм называется GPS stand-alone, второй - GPS/ИНС Калман, а последний - GPS/ИНС ограниченной НК.

Производительность этих алгоритмов была усреднена по 50 реализациям сценария, состоящего из 7 спутников в реалистичной геометрии с отношением несущей к шуму 45 дБ-Гц. Приемником служил автомобиль с постоянной скоростью 20 м/с, описывающий неоднородную траекторию. Псевдодалности рассчитывались для каждого спутника в соответствии с (6), где соответствующий шумовой член  $\epsilon^i$  был взят из  $\mathcal{N}(0, \sigma_{\rho^i}^2)$ , дисперсия которого обеспечивается границей Крамера-Рао (ГКР), которая является самой низкой границей ошибки, которую может достичь любой несмещенный оценщик. Приближенное значение ГКР было получено в [3] как  $\sigma_{\rho^i} = \frac{c \cdot 3.44 \cdot 10^{-4}}{\sqrt{(C/N_0)_i W \tau_s}}$ , где  $W$  - полоса пропускания фильтра и  $\tau_s$  - интервал распространения состояния. Смысл использования ГКР для генерации вариаций псевдодалности заключался в



том, чтобы избежать зависимости от какого-либо оценщика временной задержки. В частности,  $W = 1,1$  МГц и  $\tau_S = 1$  мс. Таким образом, измерения ГНСС и ИНС были доступны каждые 1 мс. Время выполнения симуляции  $T_{\text{run}}$  было установлено на 50 секунд. Параметры  $N_{\text{iter}}$  и  $m$  алгоритма 1 были установлены на 25 и 5, соответственно.

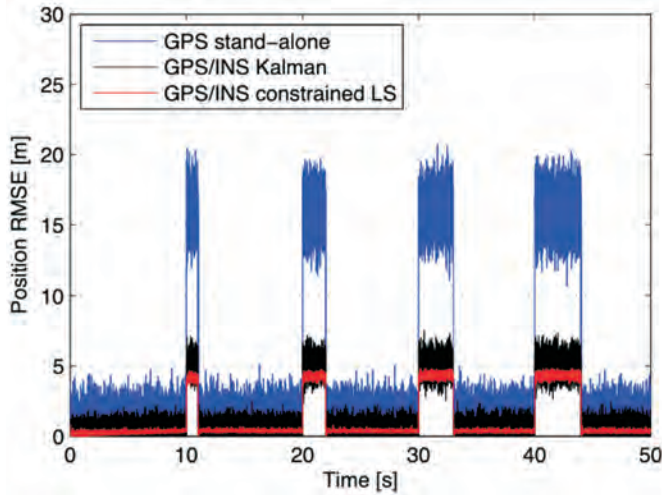


Рисунок 1 – Многолучевая среда.

Были рассмотрены два сложных сценария. В первом из них моделировалось влияние многолучевости, которая является одним из доминирующих источников ошибок в ГНСС [2]. На рисунке 1 показана производительность среднеквадратичной ошибки модели (RMSE) трех алгоритмов позиционирования. Обратите внимание, что, в то время как автономное решение GPS сильно ухудшается, обе интегрированные системы могут справиться с этой ситуацией благодаря информации, предоставляемой ИНС. Интересно, что ограниченное решение НК способно улучшить фильтрацию Калмана как по среднему значению, так и по дисперсии.

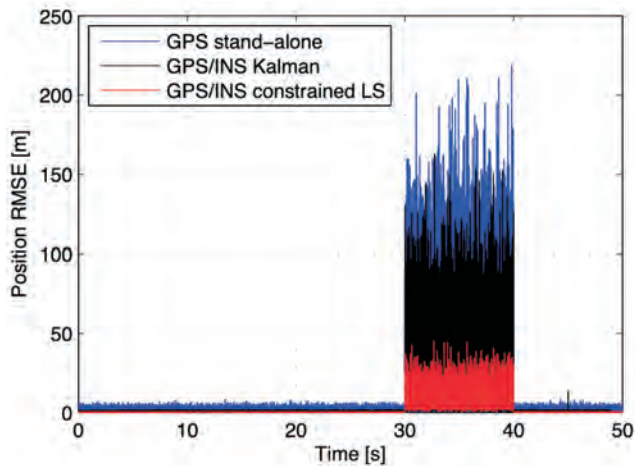


Рисунок 2 – Блокировка спутникового сигнала в течение 10 с.

Второй сценарий моделирует блокировку спутникового сигнала ( $C/N_0 = 15$  дБ-Гц). Это может быть модель автомобиля, проезжающего под мостом, когда спутники полностью заблокированы. На рисунке 2 показана деградация автономного решения наряду с устойчивостью обеих интегрированных систем. Опять же, производительность ограниченного решения НК лучше, чем решения Калмана, уменьшая среднее значение RMSE в период исчезновения из виду с 70 до 30 метров.

**Выводы.** Представлена архитектура для интеграции приемников ГНСС с измерениями ИНС. Предложенный подход сформулирован как ограниченная задача наименьших квадратов. Дана качественная интерпретация алгоритма и предложен для реализации алгоритм, основанный на двойном декомпозировании. Предложенный подход был подтвержден компьютерным моделированием, в ходе которого интегрированная система сравнивалась с работой автономного приемника GPS и обычной интеграцией GPS/ИНС с использованием фильтра Калмана. Были рассмотрены два сложных сценария: условия многолучевости и слабого сигнала.

При использовании тех же входных данных, что и фильтр Калмана, ограниченный метод наименьших квадратов использует их по-другому. Предварительные результаты моделирования показали прирост производительности, который как тема для будущей работы должен быть проверен для более широкого набора сценариев.

## ЛИТЕРАТУРА

- 1 Паркинсон Б.В., Спилкер Дж.Дж. Глобальная система позиционирования: теория и приложения, прогресс в космонавтике и аэронавтике. – Вашингтон.: AIAA, 1996.
- 2 Ван Ни Р. Д. Дж. Код с расширенным спектром и ошибки синхронизации несущей, вызванные многолучевым распространением и интерференцией. // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. – октябрь 1993.- вып. 29, №. 4. - стр. 1359–1365.
- 3 Гревал М.С., Вейлл Л.Р., Эндрюс А.П. Системы глобального позиционирования, инерциальная навигация и интеграция. - Изд-во John Wiley & Sons, 2001.
- 4 Бернал Д., Клозас П., Фернандез-Рубио Дж. А. Алгоритм фильтрации частиц для сверхтесной интеграции GNSS/INS. // Proceedings of the ION GNSS. - Savannah - 2008.
- 5 Гровс Д, Принципы ГНСС, инерциальные и мультисенсорные навигационные системы. – Лондон.: Artech House, 2008.
- 6 Бойд С., Ванденберг Л. Выпуклая оптимизация – Англия: Из-во Кембриджского университета, 2003.
- 7 Паломар П., Чианг М. Учебное пособие по методам декомпозиции для максимизации полезности сети // Журнал IEEE по отдельным областям коммуникаций. – август 2006. - том. 24, № 8. - стр. 1439–1451.

## REFERENCES

- 1 Parkinson B. V., Spilker Dzh. Dzh. Global'naya sistema pozicionirovaniya: teoriya i prilozheniya, progress v kosmonavtike i aeronavtike. – Vashington.: AIAA, 1996.
- 2 Van Ni R. D. Dzh. Kod s rasshirennym spektrom i oshibki sinhronizatsii nesushchej, vyzvannye mnogoluchevym rasprostraneniem i interferenciej. // IEEE Trans. Aerosp. Electron. Syst. – oktyabr' 1993.- vyp. 29, №. 4. - str. 1359–1365.
- 3 Greval M.S., Vejlil L.R., Endryus A.P. Sistemy global'nogo pozicionirovaniya, inercial'naya navigaciya i integraciya. - Izd-vo John Wiley & Sons, 2001.

4 Bernal D., Klozas P., Fernandez-Rubio Dzh. A. Algoritm fil'tracii chastic dlya sverhtesnoj integracii GNSS/INS. // Proceedings of the ION GNSS. - Savannah - 2008.

5 Grovs D, Principy GNSS, inercial'nye i mul'tisensornye navigacionnye sistemy. – London.: Artech House, 2008.

6 Bojd S., Vandenberg L. Vypuklaya optimizaciya – Angliya: Iz-vo Kembridzhskogo universiteta, 2003.

7 Palomar P., CHiang M. Uchebnoe posobie po metodam dekompozicii dlya maksimizacii poleznosti seti // ZHurnal IEEE po otdel'nym oblastyam kommunikacij. – avgust 2006. - tom. 24, № 8. - str. 1439–1451.

### **М. Т. ТАСОВА, А. С. ИБРАЕВ**

*Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы қ., Қазақстан*

### **ТЫҒЫЗ ГНСС/ИНС ИНТЕГРАЦИЯСЫ**

*Бұл мақалада ГНСС/ИНС тығыз интеграциясының жаңа алгоритмі зерттелді. Негізгі идея пайдаланушының позициясын ГНСС оңтайландыру мәселесінің шектеулі нұсқасының шешімі ретінде алу болып табылады, мұнда классикалық үшжақтылық ИНС өлшемдерімен шектеледі. Бұл полиномдық уақытта ең нашар жағдайда шешілетін сызықтық шектелген ең кіші квадраттар мәселесіне әкеледі. Алгоритмнің өнімділігі күрделі сценарийлердегі (атап айтқанда, көпжолды және әлсіз сигнал жағдайлары) модельдеу арқылы расталды және бірдей шарттарда автономды ГНСС және ГНСС/Калман ИНС салыстырғанда жақсартылған өнімділікті көрсетті.*

**Түйін сөздер:** *тығыз интеграция, инерциялық спутниктік навигация жүйесі, ең кіші квадраттар есебі, Кальман сүзгісі.*

### **М. Т. TASOVA, A. S. IBRAEV**

*Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan*

### **TIGHT GNSS/INS INTEGRATION**

*GNSS/INS tight integration algorithm has been studied in this paper. The main idea is to get the user's position by considering the solution of a restricted version of the GNSS optimization problem, in which the classical tripartite is limited to INS measurements. It leads to a linearly bounded least squares problem, which may be solved in the worst case in polynomial time. The efficiency of the algorithm is confirmed by simulations in complex scenarios (multipath and weak signal conditions) and shows improved performance compared to autonomous GNSS AND GNSS/INS Kalman in the same conditions.*

**Keywords:** *tight integration, inertial satellite navigation system, least squares problem, Kalman filter.*

**Е. С. ТЕМИРБЕКОВ<sup>1,2\*</sup>, Б. КАРАСАЕВ<sup>1</sup>, Ж. Т. АЙТУГАНОВА<sup>2</sup>**

*Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан  
Институт механики и машиноведения им. академика У.А. Джолдасбекова,  
г. Алматы, Казахстан*

## **ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИКИ СХЕМ СХВАТОВ РОБОТОВ-МАНИПУЛЯТОРОВ ДЛЯ АДАПТИВНОГО РАВНОМЕРНОГО ЗАХВАТА ОБЪЕКТОВ**

*Существует множество конструкций схватов роботов-манипуляторов. В этой работе представлены результаты исследований схем адаптивных схватов для объектов со сферической формой. Для оценки захвата используются датчики давления, установленные на фалангах «пальцев» схвата, значения в которых предварительно установлены в некотором диапазоне. Однако нет универсального датчика, который оптимально реагирует на весь диапазон давлений от очень больших до минимальных значений. Поэтому каждый такой датчик давления имеет свой диапазон значений, они соответствуют номинальному режиму работы датчика. В Евросоюзе установлены стандарты для фруктов и овощей. Форма этих продуктов приблизительно сферическая с некоторыми небольшими изменениями формы в лимонах и продолговатых помидорах. Механические свойства яблок, груш и томатов и др. были также измерены. То есть для каждого вида такой продукции должен быть определенный датчик с конкретным небольшим диапазоном изменения усилий. К тому же, хват должен при контакте с объектом всеми своими «пальцами» создавать одинаковые усилия для равномерного схватывания. Для исследования этого здесь анализируются схваты с гибкими тяговыми элементами, имеющие несколько фаланг на пальцах и имеющие по своей структуре адаптацию к поверхности плода.*

**Ключевые слова:** *схваты, роботы-манипуляторы, датчик, фаланг, диапазон, адаптация.*

**Введение.** При выборе схем и подборе метрических и динамических параметров адаптивных схватов для надежного удержания объекта ими, необходимо учитывать их конфигурацию, параметры схвата и захватываемого им объекта; силы и моменты, действующие в схвате и объекте; упругие и фрикционные характеристики материала элементов схвата и объекта. Будем считать зависимость усилий и упругих перемещений в элементах схвата линейной. Очевидно, чем больше точек контакта схвата с объектом, тем лучше удерживается объект в схвате при прочих равных условиях, это показано в работе [1] для объектов с круглым сечением. Из нее видно, что чем больше точек захвата, тем меньше минимальная сила захвата в каждой точке контакта схвата и объекта схватывания, необходимая для его стабильного удержания. При этом в работе [1] предполагалось, что все силы в точках контакта имеют одинаковое значение. Однако на практике это условие выполняется только для схватов с двумя точками контакта с объектом схватывания. Для схватов с тремя и более точками контакта это условие в общем случае не выполняется. Здесь этот вопрос рассматривается для адаптивных схватов, имеющих более двух точек контакта с объектом схватывания.

Также при переносе схваченного объекта вследствие действия сил инерции могут возникать его проскальзывание и смещение в самом схвате. Чтобы этого не про-

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [temirbekove@mail.ru](mailto:temirbekove@mail.ru)

исходило, нужно увеличивать усилие захватывания. Если же усилие схватывания окажется больше некоторого значения, то произойдет деформация, превышающая допустимую. А если усилие будет слишком малым, то при переносе объекта схватывания может произойти его проскальзывание или выпадение под действием сил тяжести и инерции. Из условий надежного удерживания объекта круглой формы в схвате без проскальзывания вытекают ограничения снизу на усилие захватывания. Предполагается, что сила инерции  $\phi$  направлена по оси объекта в виде цилиндра, который вертикален. Тогда при больших скоростях перемещения схвата возможное проскальзывание объекта в схвате будет по этой оси. Условие непроскальзывания [1] – это минимальное значение силы:  $P \frac{G + \phi}{4f_{\min}}, P \frac{G + \phi}{6f_{\min}}, P \frac{G + \phi}{8f_{\min}}$ , где  $f$  - коэффициент трения между точками контакта и объектом,  $G$  - вес объекта,  $\phi$  - сила инерции; 4, 6,

8 – число точек контакта схвата с объектом.

В схватах, применяемых для сбора и сортировки овощей и плодов, адаптивная конструкция схвата имеет первостепенное значение. Это нужно для того, чтобы гарантировать равномерное распределение контактного усилия по их поверхности. С точки зрения кинематики «пальцы» с двумя, а тем более тремя фалангами с двух или трёх сторон объекта обеспечивают захват цилиндрической или сферической поверхности с учетом незначительных ее возможных вариаций за счет того, что каждый многофаланговый «палец» имеет по несколько степеней свободы (вращений относительно шарниров между фалангами пальца) и поэтому адаптируется к неровностям приблизительно круглой поверхности схватываемого предмета. На одну из таких схем схвата получен патент РК на полезную модель [2]. Здесь решается проблема подбора таких усилий в гибких тяговых элементах (в приводах), которые обеспечивают приближенно равномерное сжатие в точках контакта объекта с двух- и трехфаланговым адаптивными схватами.

**Модель двухфалангового адаптивного схвата.** Он назван адаптивным потому, что каждый из пальцев имеет две фаланги, соединенные шарнирами и соответственно по две степени свободы. И если поверхность захватываемого тела не сильно отличается от окружности или сферы, то за счет имеющихся степеней свободы фаланги адаптируются к этой поверхности. Мы брали фаланги пальцев схвата, имеющие треугольный в профиле вид, и по два пальца симметричные относительно радиальной линии (Рис. 1а). На окружности радиуса  $R_2$  расположены шарниры А, В, А', В' и точки М и М' схвата. Радиус окружности сечения схватываемого объекта  $R_1$ , причем выполняется соотношение  $R_2 > R_1$ . Гибкий тяговый элемент 1 (ГТЭ-1) закреплен в точках Е и Е', от точки Е он проходит через точки F и К и далее идет к приводу-1; от точки Е' он проходит через точки F' и К' и далее идет также к приводу-1. Гибкий тяговый элемент 2 (ГТЭ-2) закреплен в точках F и F', от точки F он проходит через точку К и далее идет к приводу-2; от точки F' он проходит через точку К' и далее идет также к приводу-2. В точках  $D_1, D_2, D_3, D'_1, D'_2, D'_3$ , расположены зубья схвата. Линии ГТЭ-1 и ГТЭ-2 должны быть максимально приближены к окружности радиуса  $R_1$  для создания большего усилия в зубьях. Из условия некасания линий ГТЭ-1 и ГТЭ-2 к этой окружности сечения

объекта цилиндрической формы имеем  $(R_1+a)\cos(\alpha/2) > R_1$  или  $a > R_1/\cos(\alpha/2) - R_1$ , где  $a = ED_1 = E'D'_1 = FD_2 = F'D'_2$  и  $\alpha$  – центральный угол (рис.1а). Пусть  $\alpha = 60^\circ$ , тогда охват захватываемого объекта «пальцами» вместе с фрагментом рукоятки (закрашен зеленым цветом на рис. 1а) будет равным окружности.

Найдем внутреннее усилие  $N_1$ , которое возникает в «зубе» 1 (точка  $D_1$ ). Из условия равновесия моментов сил  $\sum M_{Ai} = 0$  (рис.1а)  $N_1 = \frac{S_1 \cdot h_2^A}{h_1^A}$ , где  $h_1^A = R_2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  – плечо момента усилия  $\bar{N}_1$ ;  $h_2^A = R_2 - (R_1 + a)\cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  – плечо момента усилия  $\bar{S}_1$  – внешнее усилие от ГТЭ-1.

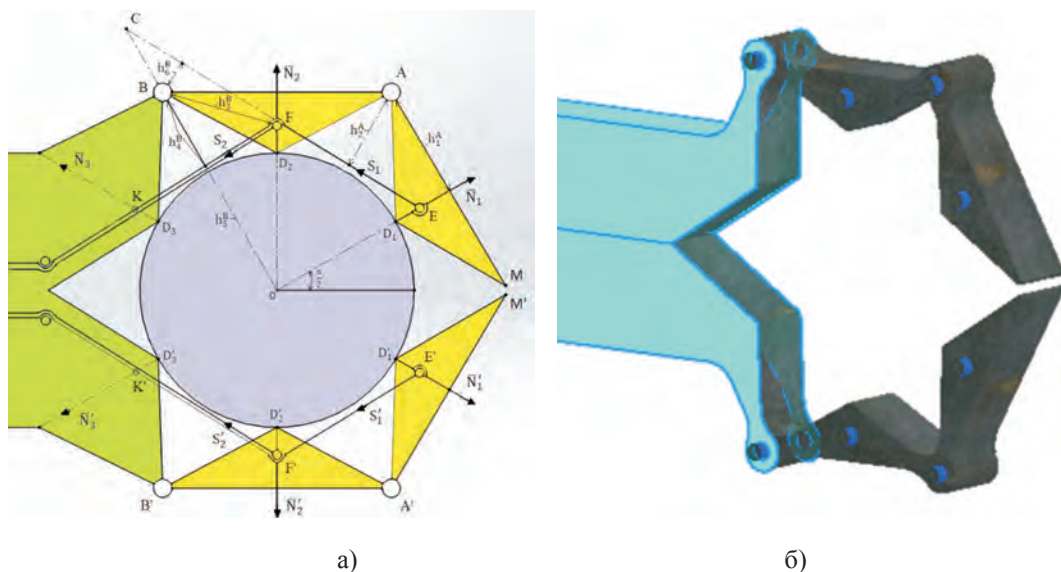


Рисунок 1 – Плоская схема и 3D-модель двухфалангового схвата

Найдем внутреннее усилие  $\bar{N}_2$ , которое возникает в зубе 2 (точка  $D_2$ ). Рассмотрим условие равновесия моментов сил  $\sum M_{Bi} = 0$  (рис.1а). От ГТЭ-2 возникает внешнее усилие  $S_2$ . От ГТЭ-1, закрепленного в точке  $E$ , в точке  $F$  возникает две реакции, равные по величине  $\bar{S}_1$ . Они направлены: одна – от точки  $F$  к  $E$ , вторая – от  $F$  к  $K$ . Их сумма по модулю равна  $S_F = 2S_1 \cdot \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ , и она направлена от точки  $F$  к точке  $O$  – центру окружности, имитирующей объект. Эти силы создают момент относительно точки  $B$ , прижимающий фалангу 2 к объекту схватывания. Из условия равновесия имеем:

$$N_2 h_3^B - S_2 h_4^B + S_1 h_6^B + N_1 h_5^B - S_F h_3^B = 0,$$

$h_3^B = h_1^A, h_4^B = h_2^A; h_5^B = R_2 \sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right)$  – плечо момента от усилия  $\bar{N}_1$ . Найдем  $h_6^B$  – плечо мо-



мента от усилия  $\bar{S}_1$  относительно точки  $B$ . Для этого сначала найдем координаты точек  $E$ ,  $F$ ,  $C$ :  $X_E = (R_1 + a) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ ,  $Y_E = (R_1 + a) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ ,  $X_F = 0$ ,  $Y_F = R_2 - (R_1 + a) \sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right)$ ,

$X_C - Y_C \cdot \frac{X_B}{Y_B}$ ,  $Y_C = \frac{Y_F X_F}{X_E - X_B Y_E + X_B Y_F}$ ,  $\angle OCE = 180^\circ - 90^\circ - 2\frac{\alpha}{2} = 30^\circ$ . Длина  $BC = Y_C - R_2$ , тогда  $h_6^B = BC \sin(\angle OCE)$ . Тогда сила  $\bar{N}_2$  равна:

$$N_2 = \frac{1}{h_3^B} (S_2 h_4^B - S_1 h_6^B - N_1 h_5^B + S_F h_3^B)$$

Усилие  $N_1$  должно быть по величине равно усилию в зубе 1 для равномерного обжатия объекта, то есть  $N_2 = N_1$ . Их направления нормальны к поверхности объекта в точках их приложения. В зубе  $D_3$ , лежащем на рукоятке, связанной шарнирно с ближайшей фалангой, из условия равновесия усилий для всего объекта схватывания и симметрии относительно точки  $O$ , имеем:  $N_3 = N_1$ . Все эти реакции направлены по нормальям к соответствующим точкам объекта схватывания (к окружности радиуса  $R_1$ ). Тогда из векторного условия равновесия усилий и симметрии схвата относительно продольной оси имеем:  $N_1' = N_1$ ,  $N_2' = N_2$ ,  $N_3' = N_3$ .

Таким образом, получим соотношения для статических усилий в плоской модели двухпальцевого двухфалангового схвата. Возьмем в качестве модельного примера параметры плоской схемы  $R_1 = 60$  мм,  $R_2 = 120$  мм,  $\alpha = 60^\circ$ ,  $a = 15$  мм. В таблице 1 и на рис.2 показаны зависимости расчетных реакций  $N_1, N_2, N_3, N_1', N_2', N_3'$  от задаваемых значений  $S_1$  и  $S_2$  на приводах, передаваемых ГТЭ-1 и ГТЭ-2. Из таблицы 1 и рисунка 2 видно, что если схватываемый объект требует в шести точках контакта со схватом приблизительное усилия в 50 н, то усилие в приводе-1 должно быть  $S_1 = 55$  н, а в приводе-2 оно должно быть  $S_2 = 69$  н. Эти значения  $S_1$  и  $S_2$  нашли методом подбора значений. Из таблицы 1 также видна приблизительно линейная зависимость между значениями строк этой таблицы. Отсюда следует, что если нужно другое, более или менее, слабое или сильное обжатие, то найти его не составляет труда умножением найденной строки значений на нормирующий множитель, который равен отношению искомого сжатия к найденному.

**Таблица 1** – Значения сил  $S_1, S_2$  и реакций  $N_1, N_2, N_3, N_1', N_2', N_3'$

$S_1$	$S_2$	$N_1 = N_1'$	$N_2 = N_2'$	$N_3 = N_3'$
55	69	50.4	50.2	50.4
110	138	100.9	100.5	100.9
165	207	151.3	150.8	151.3
220	276	201.8	201.1	201.8
275	346	252.3	252.3	252.3

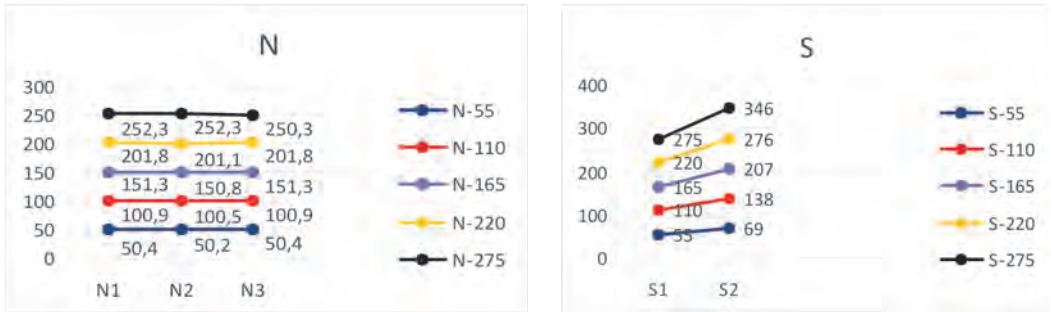


Рисунок 2 – Диаграммы сил  $S_1, S_2$  и реакций  $N_1, N_2, N_3, N_1', N_2', N_3'$

Плоская модель показывает общие закономерности взаимосвязей усилий «пальцев» схвата с круглым объектом схватывания. Рассмотрим 3D-модель данного схвата, расчетные параметры 3D модели: метрические параметры плоской схемы; толщина фаланг бралась одинаковой для всех фаланг и равной 20мм. В расчетной модели брали контакт зубьев и цилиндра в виде тонкой полосы с размерами 20x2 мм.

На рис.3-6 даны (на индикаторах) значения напряжений и упругих перемещений в точках линий контактов зубьев 3D моделей схвата и схватываемого объекта.

Картина усилий в плоской схеме и значений напряжений по Мизесу 3D моделей показывают определенное сходство в равномерности распределения этих параметров. Слева на рис. 3-6 расположены цветные шкалы со значениями соответствующих параметров, расчет проводился конечно-элементным моделированием на **Inventor**®.

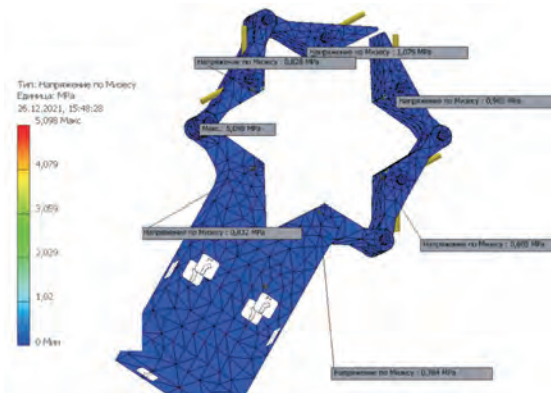


Рисунок 3 – Напряжения по Мизесу в точках контакта схвата

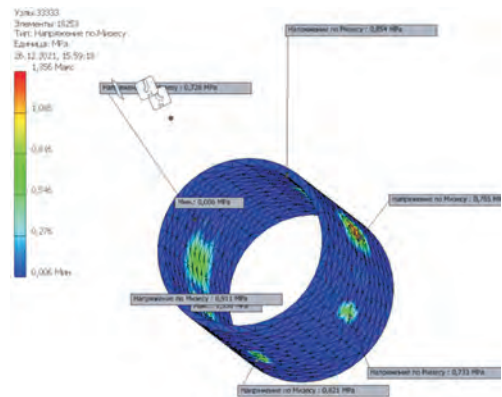


Рисунок 4 – Напряжения по Мизесу в точках контакта схватываемого объекта

**Модель трехфалангового адаптивного схвата.** Он назван адаптивным потому, что каждый из пальцев имеет по три степени свободы (Рис.7). Если поверхность схватываемого тела не сильно отличается от окружности или сферы, то схват за счет имеющихся этих трех степеней свободы в каждой фаланге адаптируется к этой поверхности. Модель трехфалангового схвата была предложена в работе [3,4]. Получен ряд соотношений, связывающих эти параметры и распределение усилий при равно-

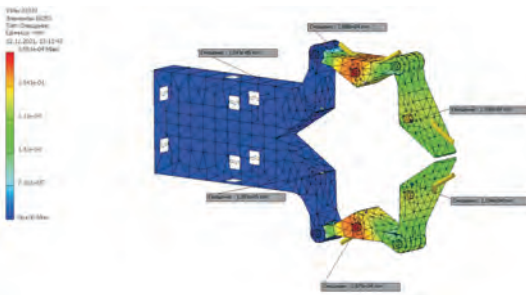


Рисунок 5 – Упругие перемещения точек в точках контакта схвата

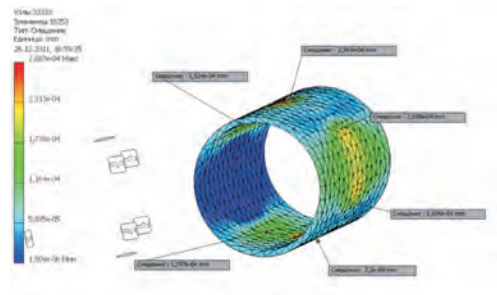


Рисунок 6 – Упругие перемещения в точках контакта схватываемого объекта

мерном захвате круглого цилиндрического предмета.Здесь рассмотрена модель, в которой фаланги «пальцев» представлены также в виде треугольников (рис.7). На окружности радиуса  $R_2$  находятся шарниры  $G, B, A, G', B', A'$  и точки  $M, M'$ , дуги  $\overline{GB}, \overline{BA}, \overline{AM}, \overline{GB'}, \overline{BA'}, \overline{AM'}$  этой окружности опираются на центральные углы, равные  $\alpha$ .

Радиус окружности сечения схватываемого объекта  $R_1$ , причем  $R_2 > R_1$ . ГТЭ-1 закреплен в точках  $E$  и  $E'$ , от точки  $E$  он проходит через точки  $F, K, L$  и далее идет к приводу-1; от точки  $E'$  он проходит через точки  $F', K', L'$  и далее идет также к приводу-1. ГТЭ-2 закреплен в точках  $F$  и  $F'$ , от точки  $F$  он проходит через точки  $K, L$  и далее идет к приводу-2; от точки  $F'$  он проходит через точки  $K', L'$  и далее идет также к приводу-2. Гибкий тяговый элемент 3 (ГТЭ-3) закреплен в точках  $K$  и  $K'$ , от точки  $K$  он проходит через точку  $L$  и далее идет к приводу-3; от точки  $K'$  он проходит через точку  $L'$  и далее идет также к приводу-3. В точках  $D_1, D_2, D_3, D_4, D'_1, D'_2, D'_3, D'_4$  расположены зубья схвата, симметрично расположенные относительно продольной линии схвата. Из условия некасания ГТЭ-1, ГТЭ-2 и ГТЭ-3 к окружности сечения схватываемого объекта цилиндрической формы имеем, получим  $(R_1 + a)\cos(\alpha/2) > R_1$ , или  $a > R_1 / \cos(\alpha/2) - R_1$ , где  $\alpha$  – центральный угол (рис.7). ГТЭ-1, ГТЭ-2 и ГТЭ-3 должны быть максимально приближены к этой окружности для создания бóльшего усилия в зубьях.

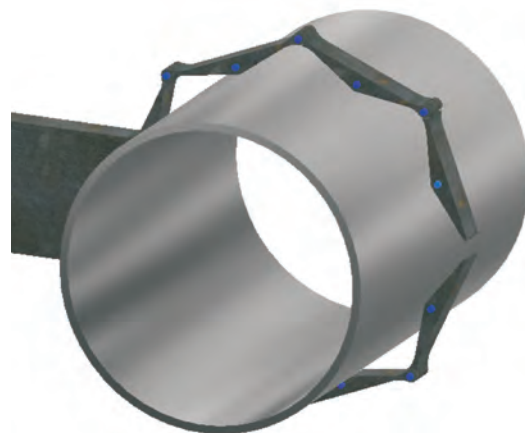
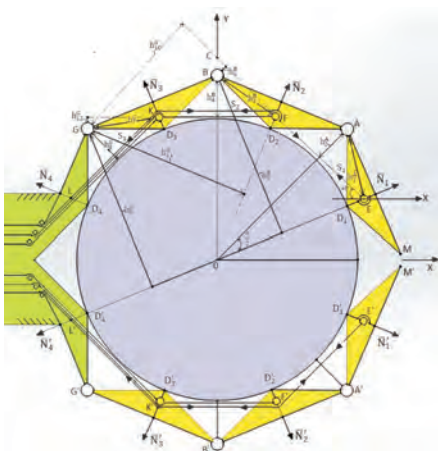


Рисунок 7 – Плоская схема и 3D-модель трехфалангового схвата

Пусть  $\alpha = 45^\circ$ , тогда охват окружности объекта схватывания всеми фалангами «пальцев» будет полным. Найдем внутреннее усилие  $\bar{N}_1$  которое возникает в «зубе» 1 (точка  $D_1$ ). Из условия равновесия моментов сил  $\sum M_{A_i} = 0$  получим  $N_1 = \frac{S_1 h_2^A}{h_1^A}$ , где  $h_1^A = R_2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  плечо момента училия  $N_1$ ;  $h_2^A = R_2 - (R_1 + a) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$  плечо момента  $S_1$ .

Найдем внутреннее усилие  $N_2$ , которое возникает в зубе 2 (точка  $D_1$ ). Рассмотрим условие равновесия моментов сил  $\sum M_{B_i} = 0$  (рис.7а). От закрепленной в точке  $E$  гибкой связи в точке  $F$  возникает две реакции, равные по величине  $S_1$ , они направлены одна от  $F$  к  $E$ , вторая от  $F$  к  $K$ . Их сумма равна  $S_F = 2S_1 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ , и она направлена от точки  $F$  к точке  $O$  и создает момент, прижимающий фалангу 2 к объекту схватывания. Из условия равновесия:

$$N_2 h_3^B - S_2 h_4^B + S_1 h_6^B + N_1 h_5^B - S_F h_3^B = 0 .$$

Здесь  $\bar{S}_2$  – внешнее усилие от ГТЭ-2;  $h_3^B = h_1^A$ ,  $h_4^B = h_2^A$ ;  $h_5^B$  – плечо момента усилие  $\bar{N}_1$ ;  $h_6^B = R_2 \sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right)$ . Найдем  $h_3^B$  – плечо момента усилия  $\bar{S}_1$  относительно  $B$ ,

для этого определяем точки  $E, F, C$ :  $X_E = (R_1 + a) \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ ,  $Y_E = (R_1 + a) \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ ,

$$X_F = (R_1 + a) \cos\left(3\frac{\alpha}{2}\right), Y_E = (R_1 + a) \sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right), X_C = 0, Y_C = Y_E - \frac{X_E(Y_F - Y_E)}{X_F - X_E} .$$

$$\angle OCE = 180^\circ - 90^\circ - 2\frac{\alpha}{2} = 45^\circ . \text{ Длина } BC = Y_C - R_2, \text{ тогда } h_6^B = BC \sin(\angle OCE) .$$

При этом сила  $\bar{N}_2$  по модулю равна  $N_2 = \frac{1}{h_2^B} (S_2 h_4^B - S_1 h_6^B - N_1 h_5^B + S_F h_3^B)$ . Усилие  $N_2$

должно быть равно по модулю усилию в зубе 1, то есть  $N_2 = N_1$ .

Найдем внутренне усилие  $\bar{N}_3$ , которое возникает в зубе 3, точка  $D_3$  (рис.7а). Рассмотрим условие равновесия моментов сил  $\sum M_{D_i} = 0$ . В точке  $F$  возникают две реакции, равные по величине  $S_1$ . Они направлены: одна – от  $F$  к  $E$ , вторая – от  $F$  к  $K$ .

Их сумма равна  $S_F = 2S_1 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ , и она направлена от точки  $F$  к точке  $O$ . В точке  $K$

также возникают две реакции, равные по величине  $S_1$ . Они направлены: одна – от  $K$  к  $F$ , вторая – от  $K$  к  $L$ . Их сумма равна  $S_{K1} = 2S_1 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ , и она направлена от точки  $K$  к

точке  $O$ . В точке  $K$  возникают две реакции, равные по величине  $S_2$  и направленные –

одна – от  $K$  к  $F$ , вторая – от  $K$  к  $L$ . Их сумма равна  $S_{K2} = 2S_2 \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)$ , и она направлена

от точки  $K$  к точке  $O$ . Они создают момент, прижимающий фалангу в точке  $K$  к объекту схватывания. Из условия равновесия получим:

$$N_3 h_7^G - S_3 h_8^G + S_1 h_{10}^G + N_1 h_9^G + S_2 h_{12}^G + N_2 h_{11}^G - S_{K1} h_7^G - S_{K2} h_7^G = 0 ,$$

где  $h_7^G = h_3^B = h_1^A$ ,  $h_{12}^G = h_6^B$ ,  $h_8^G = h_4^B = h_2^A$ ,  $h_{11}^G = h_9^G = h_5^B = R_2 \sin\left(3\frac{\alpha}{2}\right)$ ,  $S_3$  – внешнее усилие от ГТЭ-3. Найдем  $h_{10}^G$  - кратчайшее расстояние от точки  $G$  до линии, проходящей

через точки  $E$  и  $F$  в системе координат  $XOY$ :  $h_{10}^G = \left| \frac{A_0 X_G | B_0 Y_G | C_0}{\sqrt{A_0^2 + B_0^2}} \right|$ , где  $A_0, B_0, C_0$  коэффициенты уравнения прямой, проходящей через точки  $E$  и  $F$ . Тогда усилие по модулю  $\bar{N}_3$  будет равно:

$$N_3 = \frac{1}{h_7^G} (S_3 h_8^G - S_1 h_{10}^G - N_1 h_9^G - S_2 h_{12}^G - N_2 h_{11}^G + S_{K1} h_7^G + S_{K2} h_7^G)$$

Усилие  $N_3$  должно быть также равно усилию в зубе 1, то есть  $N_3 = N_1$ .

В зубе из условия векторного равновесия усилий и симметрии объекта схватывания находим  $N_4 = N_1$ .

Все эти реакции направлены по нормальям к соответствующим точкам объекта схватывания (к окружности радиуса  $R_1$ ), тогда из векторного условия равновесия усилий и симметрии схвата относительно продольной оси, имеем:  $N_1' = N_1$ ,  $N_2' = N_2$ ,  $N_3' = N_3$ ,  $N_4' = N_4$  (рис. 7а). Возьмем параметры для модельного примера:  $R_1 = 190$  мм,  $R_2 = 230$  мм,  $\alpha = 45^\circ$ ,  $a = 10$  мм. В таблице 2 и на рисунке 8 показаны зависимости реакций  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_1', N_2', N_3', N_4'$  от задаваемых значений  $S_1, S_2, S_3$  на приводах, передаваемых ГТЭ-1, ГТЭ-2 и ГТЭ-3:

**Таблица 2** –  $S_1, S_2, S_3$  и  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_1', N_2', N_3', N_4'$

$S_1$	$S_2$	$S_3$	$N_1 = N_1'$	$N_2 = N_2'$	$N_3 = N_3'$	$N_4 = N_4'$
55	133	500	28.2	28.4	28.5	28.2
110	266	1001	56.5	56.7	56.6	56.5
165	398	1501	84.7	84.6	84.4	84.7
220	532	2001	113.03	113.48	113.75	113.03
275	665	2502	141.2	141.8	141.8	141.2

Из таблицы 2 и рисунка 8 видно, что если схватываемый объект требует в восьми точках контакта со схватом приблизительное усилие в 28 н, то усилие в приводе-1 должно быть  $S_1 = 55$  н, в приводе-2 оно должно быть  $S_2 = 133$  н, в приводе 3 оно должно быть 500 н. Эти значения  $S_1, S_2, S_3$  находят методом их подбора. Из таблицы 2 также видна приблизительно линейная зависимость между значениями строк этой таблицы. Отсюда следует, что если нужно другое, более или менее, слабое или сильное обжатие, то найти его не составляет труда умножением найденной строки



значений на нормирующий множитель, который равен отношению искомого сжатия к найденному.

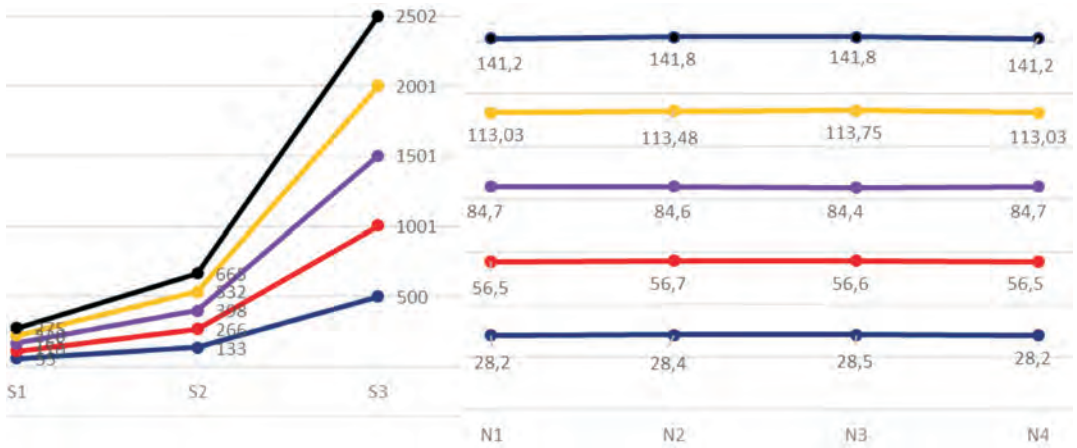


Рисунок 8 – Диаграммы сил  $S_1, S_2, S_3$  и  $N_1, N_2, N_3, N_4, N_1', N_2', N_3', N_4'$

Плоская модель показывает общие закономерности взаимодействия «пальцев» схвата с круглым объектом схватывания. Рассмотрим 3D-модель данного схвата, расчетные параметры 3D-модели: метрические параметры плоской схемы; толщина фланг бралась одинаковой для всех фланг и равной 20 мм, в расчетной модели брали контакт зубьев и цилиндра в виде тонкой полосы с размерами 20x2 мм.

На рис.9-12 даны (на индикаторах) значения напряжений и упругих перемещений в точках схвата и схватываемого объекта. Картина усилий в плоской схеме и напряжений по Мизесу 3D-модели здесь также показывают определенное сходство в равномерности распределения этих параметров. Слева на рис.9-12 расположены цветные шкалы со значениями соответствующих параметров, расчет проводился конечно-элементным моделированием на **Inventor**’е.

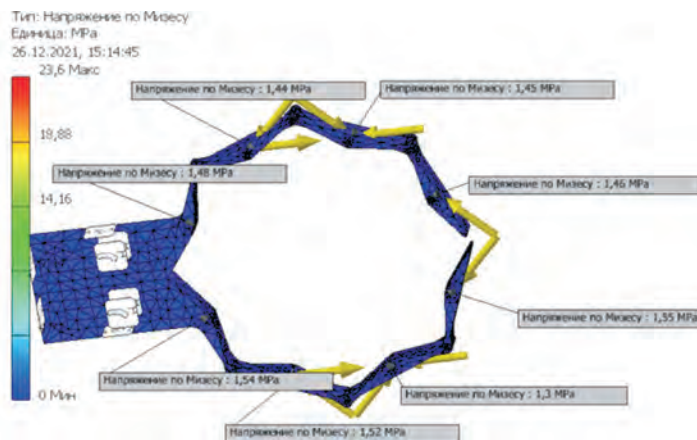


Рисунок 9 – Напряжения по Мизесу в точках контакта схвата



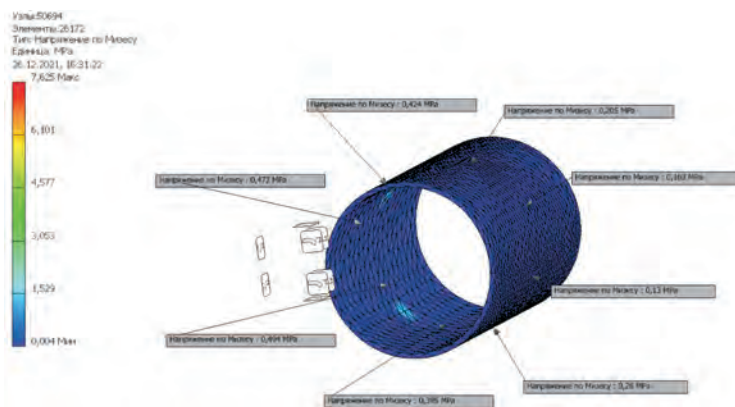


Рисунок 10 – Напряжения по Мизесу в точках контакта схватываемого объекта

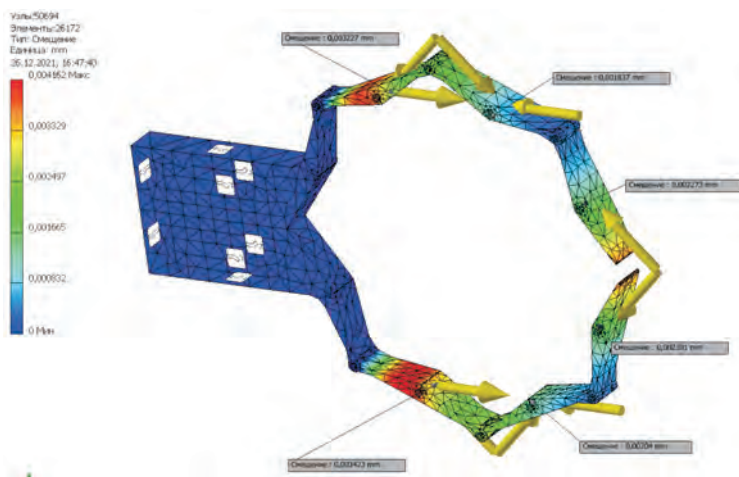


Рисунок 11 – Упругие перемещения в точках контакта схвата

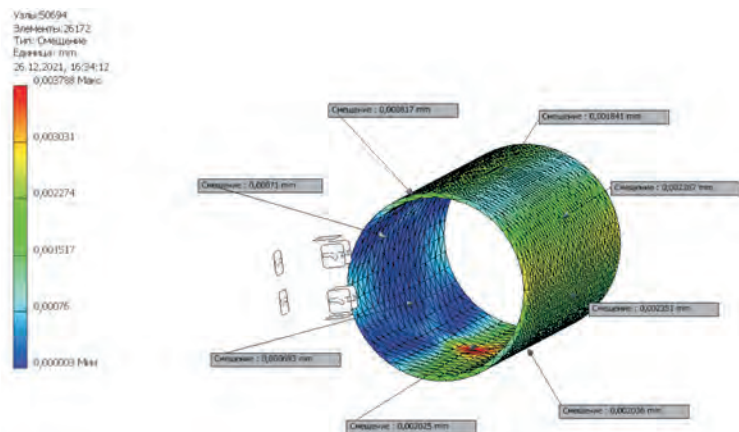


Рисунок 12 – Упругие перемещения в точках контакта схватываемого объекта

**Заключение.** В большинстве научных публикаций, посвященных исследованию схватов, в основном затрагиваются вопросы их структуры, конструкции и управления. Здесь рассматриваются схваты с точки зрения критериев адаптивности и равномерного распределения усилий в точках контакта схвата и объекта. Рассмотрены плоские схемы и 3D-модели двухфалангового и трехфалангового двухпальцевых схватов. Показана их адаптивность к форме, близкой к круговому цилиндру и сфере. Показаны условия, при которых происходит приближенное равномерное сжатие объекта в шести и восьми точках контакта двухфалангового и трехфалангового двухпальцевых схватов.

Из табличных значений видно, что приближенно равномерное захват объекта дан для пяти моделируемых значений усилий в ГТЭ. Причем усилия в ГТЭ-1 брались одинаковыми для обоих схватов. Видно, что усилия последовательно возрастают от первого ГТЭ к последующим ГТЭ, у трехфалангового схвата они возрастают заметно быстрее, чем у двухфалангового, но усилия в точках контакта зубьев схватов и поверхности объекта в нем значительно меньше.

Несомненна практическая значимость данного подхода, так как агропродукция (помидоры, абрикосы и др.) может быть очень чувствительна даже к незначительным деформациям, а равномерное номинальное сжатие позволяет уменьшить их. В качестве прогноза развития этого подхода можно, например, было бы расширить его для тех же схватов, имеющих в каждом пальце свои степени свободы, то есть в данных примерах это четыре и шесть степеней свободы.

#### ЛИТЕРАТУРА

- 1 Мохаммед А.Х. Задачи механики адаптивных схватов промышленных роботов. Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. С.-Петербург, 1993 г., 171 с.
- 2 Отчет о научно-исследовательской работе «Создание и разработка инновационного робота с адаптивным исполнительным механизмом схвата манипулятора для перегрузки цилиндрических и сферических грузов» Алматы 2021, № госрегистрации AP09562257
- 3 Temirbekov Y. and others. Grasps of Robot Manipulator When Overloading Solid High-Radioactive Elements and Their Calculation. Mechanics and Machine Science ISBN 978-3-030-03319-4.) <http://doi.org/10.1007/978-3-030-03320-0 p.316-324>
- 4 Temirbekov Y. and others. A gripper mechanism to automate overload process for fuel elements. Mechanisms and Machine Science Volume 66, 2019, 118-128 p.

#### REFERENCES

- 1 Mohammed A.H. Zadachi mekhaniki adaptivnyh skhvatov promyshlennyh robotov. Dissertatsiya na soiskanie uchenoj stepeni kandidata tekhnicheskikh nauk. S.-Peterburg, 1993 g., 171 s.
- 2 Otchet o nauchno-issledovatel'skoj rabote «Sozdanie i razrabotka innovacionnogo robota s adaptivnym ispolnitel'nym mekhanizmom skhvata manipulyatora dlya peregruzki cilindricheskikh i sfericheskikh gruzov» Almaty 2021, № gosregistracii AP09562257
- 3 Temirbekov Y. and others. Grasps of Robot Manipulator When Overloading Solid High-Radioactive Elements and Their Calculation. Mechanics and Machine Science ISBN 978-3-030-03319-4.) <http://doi.org/10.1007/978-3-030-03320-0 p.316-324>
- 4 Temirbekov Y. and others. A gripper mechanism to automate overload process for fuel elements. Mechanisms and Machine Science Volume 66, 2019, 118-128 p.

**Е. С. ТЕМИРБЕКОВ<sup>1,2</sup>, Б. ҚАРАСАЕВ<sup>1</sup>, Ж. Т. АЙТУГАНОВА<sup>2</sup>**

<sup>1</sup>Қазақ ұлттық университеті, әл-Фараби, Алматы қ., Қазақстан

<sup>2</sup>Академик Ө. Жолдасбеков аындағы Қазақстан механика және машинатану институты, Алматы қ., Қазақстан

## **АДАПТИВТІ БІРКЕЛКІ ҰСТАУ ҮШІН РОБОТ-МАНИПУЛЯТОРЛАРДЫ ҰСТАУ СХЕМАЛАРЫНЫҢ МЕХАНИКАСЫН ЗЕРТТЕУ**

Робот-манипуляторларының көптеген конструкциялары бар. Бұл жұмыста сфералық нысандарға арналған адаптивті ұстау схемаларын зерттеу нәтижелері келтірілген. Ұстауды бағалау үшін «саусақтардың» фалангтарына орнатылған қысым датчиктері қолданылады, олардың мәндері белгілі бір диапазонда алдын-ала орнатылған. Алайда, өте үлкен және минималды мәндерден бастап барлық қысым диапазонына оңтайлы жауап беретін әмбебап сенсор жоқ. Сондықтан әрбір осындай қысым сенсорының өзіндік мәндер диапазоны бар, олар сенсордың минималды жұмыс режиміне сәйкес келеді. Еуропалық Одақта жемістер мен көкөністерге арналған стандарттар белгіленген. Бұл өнімдердің пішіні шамамен сфералық, лимон мен ұзын қызанақтың пішінінде үлкен емес өзгерістер бар. Алма, алмұрт және қызанақтың механикалық қасиеттері де өлшенді. Яғни, мұндай өнімнің әр түрі үшін күш-жігердің белгілі бір шағын диапазоны бар белгілі бір сенсор болуы керек. Сонымен қатар, ұстау объектімен барлық «саусақтарымен» байланыста болған кезде біркелкі ұстау үшін бірдей күш салуы керек. Мұны зерттеу үшін саусақтарында бірнеше фалангтары бар және құрылымы бойынша ұрықтың бетіне бейімделетін икемді тарту элементтері бар жиырылдулар талданады.

**Түйін сөздер:** ұстағыштар, робот-манипуляторлар, сенсор, фаланг, диапазон, бейімделу.

**E. S. TEMIRBEKOV<sup>1,2</sup>, B. KARASAEV<sup>1</sup>, J. T. AITUGANOVA<sup>2</sup>**

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

<sup>2</sup> Institute of Mechanics and Machine Science named after academician U.A. Dzholdasbekov, Almaty, Kazakhstan

## **INVESTIGATION OF THE MECHANICS OF THE GRAPPLING CIRCUITS OF ROBOTIC MANIPULATORS FOR ADAPTIVE UNIFORM GRIPPING OBJECTS**

There are many designs of robotic manipulator grippers. In this work, a study of adaptive gripping schemes for objects with a spherical shape was carried out. To evaluate the grip, pressure sensors are used, installed on the phalanges of the “fingers” of the grip, the values of which are preset in a certain range. However, there is no universal sensor that responds optimally to the entire range of pressures from very high to minimal values. Therefore, each such pressure sensor has its own range of values; they correspond to the nominal operating mode of the sensor. The European Union has established standards for fruits and vegetables. The shape of these products is approximately spherical, with some slight variations in shape in lemons and oblong tomatoes. The mechanical properties of apples, pears and tomatoes, etc. were also measured. That is, for each type of such product there must be a specific sensor with a specific small range of force changes. In addition, the gripper must, when in contact with the object with all its “fingers,” create equal forces for uniform grasping. To investigate this, grips with flexible traction elements, having several phalanges on the fingers and having an adaptation to the surface of the fetus in their structure, are analyzed here.

**Keywords:** grips, robotic manipulators, sensor, phalanx, range, adaptation.

**G. N. SHAIKHOVA\*, A. A. KAIYRBEKOVA, S. K. BURGUMBAYEVA**

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

## EXACT SOLUTIONS OF THE TWO-DIMENSIONAL NONLINEAR SCHRÖDINGER EQUATION

*The nonlinear Schrödinger equation as a classical model in physics is gradually becoming an urgent problem that needs to be studied. Obtaining an exact solution of the corresponding model can not only provide theoretical support for the experiment but also provide a basis for solving practical problems.*

*In this work, we study the propagation of waves of the two-dimensional nonlinear Schrödinger equation in nonlinear media with dispersion processes. The tan-cot function method is applied. This method is effective in solving nonlinear equations of mathematical physics. Various solutions in the form of periodic waves are obtained. Graphs of the solutions are presented.*

**Keywords:** exact solutions, tan-cot function method, two-dimensional, nonlinear Schrödinger equation, ordinary differential equation, partial differential equation

**1. Introduction.** Nonlinear partial differential equations (NPDEs) can transform nonlinear problems in the real world into mathematical models [1-2]. Thus the method for deriving exact solutions for the governing equation has developed, namely the Darboux transformation [3], the Hirota method [4-5], the tanh method [5], the sine-cosine method [6-7], and others.

In this work, we investigate the two-dimensional nonlinear Schrödinger equation [8], which is

$$iq_t + a_1 q_{xx} + a_2 q_{xy} + a_3 q_{yy} + i(b_1 |q|^2 q)_x + ib_2 (|q|^2 q)_y = 0, \quad (1)$$

where  $q(x, y, t)$  is complex function of the spatial coordinates  $x, y$  and the time  $t$ ,  $a_k$ , ( $k = 1, 2, 3$ ) and  $b_j$ , ( $j = 1, 2$ ) are real constants.

The two-dimensional NLS equation (1) is presented in [8] where optical soliton solutions are obtained by the ansatz method. However, it is noted that the tan-cot function method [9-10] for the NLS equation (1) was not applied. So, in this research, we find new kinds of solutions for Eq. (1) by applying the tan-cot function method.

**2. Description of the tan-cot function method.** The below describes the tan-cot function method [9-10] for the NPDEs in the three independent variables:

$$E(u_t, u_x, u_y, u_{xx}, u_{yy}, u_{xy}, u_{xxx}, \dots) = 0, \quad (2)$$

where the function  $u(x, y, t)$  is unknown.  $E$  is polynomial in  $u(x, y, t)$  as well as its several partial derivatives including nonlinear terms and the highest order derivative. To determine the exact solutions of Eq. (1), introduce the traveling wave transformation given as

$$u(x, y, t) = u(\xi), \quad \xi = (x + y - ct). \quad (3)$$

---

\* E-mail корреспондирующего автора: [g.shaikhova@gmail.com](mailto:g.shaikhova@gmail.com)

Inserting the above transformation into Eq. (2), yields the ordinary differentialequation (ODE) given in the following way:

$$E(u, u', u'', u''', \dots) = 0. \tag{4}$$

If required, one integrates Eq. (4) asnumerous times as possible, for simplicity, keeping the constant of integration at zero. The solutions of ODE (4) take the following form

$$u(x, y, t) = \lambda \tan^\beta(\mu\xi), \tag{5}$$

or

$$u(x, y, t) = \lambda \cot^\beta(\mu\xi), \tag{6}$$

where  $\xi = x + y - ct$ , the parameters  $\mu$ ,  $\lambda$  and  $\beta$  will be defined. The derivatives of (5) have forms

$$u' = \lambda\beta\mu \tan^{\beta-1}(\mu\xi) + \lambda\beta\mu \tan^{\beta+1}(\mu\xi), \tag{7}$$

$$u'' = \lambda\mu^2\beta(\beta - 1) \tan^{\beta-2}(\mu\xi) + 2\lambda\mu^2\beta^2 \tan^\beta(\mu\xi) + \lambda\mu^2\beta(\beta + 1) \tan^{\beta+2}(\mu\xi), \tag{8}$$

andthederivativesof(6) become

$$u' = -\lambda\beta\mu \cot^{\beta-1}(\mu\xi) - \lambda\beta\mu \cot^{\beta+1}(\mu\xi), \tag{9}$$

$$u'' = \lambda\mu^2\beta(\beta - 1) \cot^{\beta-2}(\mu\xi) + 2\lambda\mu^2\beta^2 \cot^\beta(\mu\xi) + \lambda\mu^2\beta(\beta + 1) \cot^{\beta+2}(\mu\xi), \tag{10}$$

and others. Using (5)-(10) into the ODE(4) we get a trigonometric equation of  $\tan^r(\mu\xi)$  or  $\cot^r(\mu\xi)$  terms. Then, we define the parameters by first balancing the exponents of each pair of functions tangent or cotangent to determine  $\beta$ . After, we collect all coefficients of the same power in  $\tan^r(\mu\xi)$  or  $\cot^r(\mu\xi)$ , where these coefficients mustvanish. The system of algebraic equations among the unknown  $\lambda$  and  $\mu$  will be given and from that, we can definecoefficients.

**3. Application of the tan-cot method.** We assume the solutions to Eq. (1) in the form

$$q(x, y, t) = e^{i(ax+by+dt)}u(\xi), \text{ and } \xi = x + y - ct, \tag{11}$$

where the quantities  $a, b, d, c$  are non-zero constants. Inserting (11) intoEq. (1), separating the real and imaginary parts, we get:

$$(-d - a_1a^2 - a_2ab - a_3b^2)u + (a_1 + a_2 + a_3)u'' - (b_1a + ab_2)u^3 = 0, \tag{12}$$

$$(-c + 2a_1a + a_2b + a_2a + 2a_3b)u' + (b_1 + \frac{b_2}{3})(u^3)' = 0. \tag{13}$$

From Eq.(13) we can found

$$c = (2a_1 + a_2)a + (2a_3 + a_2)b, \quad b_1 = -\frac{b_2}{3}. \tag{14}$$

And then in next subsection,we study Eq. (12) by the tan-cot function method

$$(-d - a_1a^2 - a_2ab - a_3b^2)u + (a_1 + a_2 + a_3)u'' - (b_1a + ab_2)u^3 = 0. \quad (15)$$

**3.1 The tangent solution.** According to method the solution of the (15) can be found by transformation

$$u_1(x, y, t) = \lambda \tan^\beta(\mu\xi). \quad (16)$$

To find the tangentfunction solution we use (16) and it's derivative (8). Inserting(16) and (8) into (15)we obtain

$$(-d - a_1a^2 - a_2ab - a_3b^2)\lambda \tan^\beta(\mu\xi) + (a_1 + a_2 + a_3)(\lambda\mu^2\beta(\beta - 1) \tan^{\beta-2}(\mu\xi) + 2\lambda\mu^2\beta^2 \tan^\beta(\mu\xi) + \lambda\mu^2\beta(\beta + 1) \tan^{\beta+2}(\mu\xi)) - (b_1a + ab_2)\lambda^3 \tan^{3\beta}(\mu\xi) = 0. \quad (17)$$

Applying the balance method, by equating the exponents of  $\tan^i$ , from (17) we define  $\beta$ :

$$3\beta = \beta + 2, \Rightarrow \beta = 1. \quad (18)$$

Substitute (18) in (17) we getthe next equation

$$(-d - a_1a^2 - a_2ab - a_3b^2)\lambda \tan(\mu\xi) + (a_1 + a_2 + a_3)(2\lambda\mu^2 \tan(\mu\xi) + 2\lambda\mu^2 \tan^3(\mu\xi)) - (b_1a + ab_2)\lambda^3 \tan^3(\mu\xi) = 0. \quad (19)$$

Equating the coefficients of each pair of the tangent function, we find the next system of algebraic equations:

$$\begin{aligned} \tan(\mu\xi): \quad & \lambda(-d - a_1a^2 - a_2ab - a_3b^2) + 2\lambda\mu^2(a_1 + a_2 + a_3) = 0, \\ \tan^3(\mu\xi): \quad & 2\lambda\mu^2(a_1 + a_2 + a_3) - (b_1a + ab_2)\lambda^3 = 0. \end{aligned} \quad (20)$$

The system (20) give us

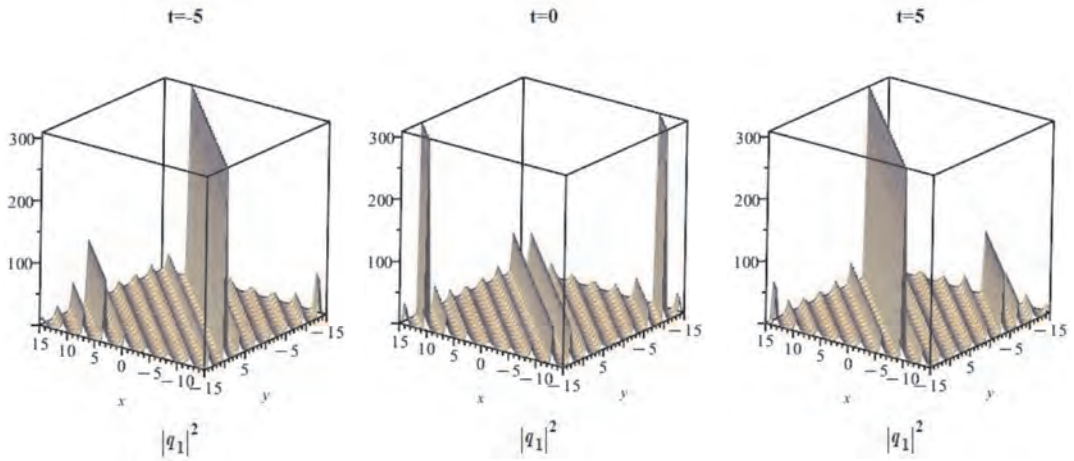
$$\lambda = \pm \sqrt{\frac{d+a_1a^2+a_2ab+a_3b^2}{(b_1+b_2)a}}, \quad \mu = \pm \sqrt{\frac{d+a_1a^2+a_2ab+a_3b^2}{2(a_1+a_2+a_3)}}. \quad (21)$$

Substituting the parameters (21) into Eq. (16) and then in (11) we have the tangent function solution of the two-dimensional NLS equation (1) in the following form

$$q_1(x, y, t) = \pm e^{i(ax+by+dt)} \sqrt{\frac{d+a_1a^2+a_2ab+a_3b^2}{(b_1+b_2)a}} \tan\left(\sqrt{\frac{d+a_1a^2+a_2ab+a_3b^2}{2(a_1+a_2+a_3)}}(x + y - ct)\right), \quad (22)$$

where  $c = (2a_1 + a_2)a + (2a_3 + a_2)b$ ,  $b_1 = -\frac{b_2}{3}$ . The dynamics of the solution  $q_1(x, y, t)$  is presented in Fig. 1.





**Figure 1** – Dynamics of the solutions of  $q_1(x, y, t)$  with the parameters:  $a = 1, b = 1, d = 1, c = 6, b_1 = 1, b_2 = -\frac{1}{3}$ .

**3.2 The cotangent solution.** According to method the solution of the (15) can be found by transformation

$$u_2(x, y, t) = \lambda \cot^\beta(\mu\xi). \tag{23}$$

To find the cotangent function solution we use (23) and it’s derivative (10). Inserting (23) and (10) into (15) we obtain

$$(-d - a_1a^2 - a_2ab - a_3b^2)\lambda \cot^\beta(\mu\xi) + (a_1 + a_2 + a_3)(\lambda\mu^2\beta(\beta - 1) \cot^{\beta-2}(\mu\xi) + 2\lambda\mu^2\beta^2 \cot^\beta(\mu\xi) + \lambda\mu^2\beta(\beta + 1) \cot^{\beta+2}(\mu\xi)) - (b_1a + ab_2)\lambda^3 \cot^{3\beta}(\mu\xi) = 0. \tag{24}$$

Applying the balance method, by equating the exponents of  $\cot^i$ , from (24) we define  $\beta$ :

$$3\beta = \beta + 2, \Rightarrow \beta = 1. \tag{25}$$

Substitute (25) in (24) we get the next equation

$$(-d - a_1a^2 - a_2ab - a_3b^2)\lambda \cot(\mu\xi) + (a_1 + a_2 + a_3)(2\lambda\mu^2 \cot(\mu\xi) + 2\lambda\mu^2 \cot^3(\mu\xi)) - (b_1a + ab_2)\lambda^3 \cot^3(\mu\xi) = 0. \tag{26}$$

Equating the coefficients of each pair of the cotangent function, we find the next system of algebraic equations:

$$\begin{aligned} \cot(\mu\xi): \quad & \lambda(-d - a_1a^2 - a_2ab - a_3b^2) + 2\lambda\mu^2(a_1 + a_2 + a_3) = 0, \\ \cot^3(\mu\xi): \quad & 2\lambda\mu^2(a_1 + a_2 + a_3) - (b_1a + ab_2)\lambda^3 = 0. \end{aligned} \tag{27}$$

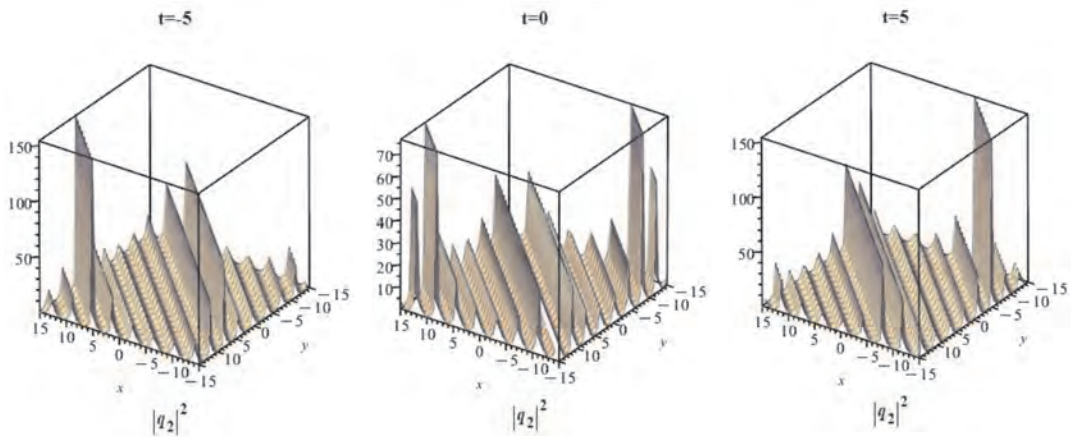
The system (27) give us

$$\lambda = \pm \sqrt{\frac{d+a_1a^2+a_2ab+a_3b^2}{(b_1+b_2)a}}, \quad \mu = \pm \sqrt{\frac{d+a_1a^2+a_2ab+a_3b^2}{2(a_1+a_2+a_3)}}. \quad (28)$$

Substituting the parameters (28) into Eq. (23) and then in (11) we have the cotangent function solution of the two-dimensional NLS equation (1) in the following form

$$q_2(x, y, t) = \pm e^{i(ax+by+dt)} \sqrt{\frac{d+a_1a^2+a_2ab+a_3b^2}{(b_1+b_2)a}} \cot\left(\sqrt{\frac{d+a_1a^2+a_2ab+a_3b^2}{2(a_1+a_2+a_3)}}(x+y-ct)\right), \quad (29)$$

where  $c = (2a_1 + a_2)a + (2a_3 + a_2)b$ ,  $b_1 = -\frac{b_2}{3}$ . The dynamics of the solution  $q_2(x, y, t)$  is presented in Fig. 2.



**Figure 2** – Dynamics of the solutions of  $q_2(x, y, t)$  with the parameters:  $a = 1, b = 1, d = 1, c = 6, b_1 = 1, b_2 = -\frac{1}{3}$ .

**4. Conclusion.** The tan-cot function methods are applied to obtain the exact solutions of the two-dimensional NLS equation. The obtained solutions can have an application to some practical physical problems. The used method is applicable to a large variety of nonlinear partial differential equations. Furthermore, some graphs of the propagation waves are presented by choosing the specific values of the parameters.

This research was funded by the Science Committee of the Ministry of Science and Higher Education of the Republic of Kazakhstan (Grant No AP09057947).

### REFERENCES

- 1 Wazwaz A. Partial differential equations and solitary waves theory. //Springer. -2009.
- 2 Yesmakhanova K., Nugmanova G., Shaikhova G., Bekova G., Myrzakulov R. Coupled dispersionless and generalized Heisenberg ferromagnet equations with self-consistent sources: Geometry and equivalence // International Journal of Geometric Methods in Modern Physics- 2020. -Vol.17, -No 7. -P. 2050104 (19 pages).

3 Yesmakhanova K., Shaikhova G., Bekova G., Myrzakulov R., Darboux transformation and soliton solution for the (2+1)-dimensional complex modified Korteweg-de Vries equations//J. Phys. Conf.Ser., 936 (2017), 012045.

4 Kutum B.B., Shaikhova G.N. q-soliton solution for two-dimensional q-Toda lattice.//Bulletin of the Karaganda University. Physics series. -2019. -No.2(95).-P. 22-26.

5 Burdik C., Shaikhova G., and Rakhimzhanov B., Soliton solutions and travelling wave solutions for the two-dimensional generalized nonlinear Schrodinger equations. // Eur. Phys. J. Plus 136, 1095-1-17 (2021).

6 Shaikhova G.N., Kutum B.B., Altaybaeva A.B., Rakhimzhanov B.K. Exact solutions for the (3+1)-dimensional Kudryashov-Sinelshchikov equation//Journal of Physics: Conference Series. -2019. -Vol. 1416. -P. 012030(1-6).

7 Shaikhova G.N., Rakhimzhanov B.K. Traveling wave solutions for the extended modified Korteweg-de Vries equation //Вестник Национальной инженерной академии РК-2021-№4, -С. 197-203.

8 Zhang L.-L., Wang X. Analysis of exact solutions and stability analysis of a (2+1)-dimensional nonlinear Schrodinger equation. //Optik - International Journal for Light and Electron Optics-2022, Vol. 269, 169905.

9 Jawal M., Al-Shaer A. Solutions for Nonlinear Partial Differential Equations by Tan-Cot Method. // IOSR Journal of Mathematics, Vol 5, Issue 3. 2013, p. 06-11.

10 Jawal A.J. New exact solutions of Nonlinear Partial Differential Equations Using Tan-Cot Function Method. // Studies in Mathematical sciences, Vol.5, No 2, 2012, p. 13 -25.

**Г. Н. ШАЙХОВА, А. А. ҚАЙЫРБЕКОВА,  
С. К. БУРГУМБАЕВА**

*Л.Н. Гумилев атындағы Еуразия ұлттық университеті, Астана қ., Қазақстан  
e-mail:g.shaikhova@gmail.com*

## **ЕКІ ӨЛШЕМДІ СЫЗЫҚТЫ ЕМЕС ШРЕДИНГЕР ТЕҢДЕУІНІҢ НАҚТЫ ШЕШІМДЕРІ**

*Сызықтық емес Шредингер теңдеуі физикадағы классикалық модель ретінде зерттеуді қажет ететін өзекті мәселе болып табылады. Тиісті модельдің нақты шешімін алу экспериментке теориялық қолдау көрсетіп қана қоймай, практикалық мәселелерді шешуге негіз бола алады.*

*Бұл жұмыста дисперсиясы бар сызықты емес ортада екі өлшемді сызықты емес Шредингер теңдеуінің толқындарының таралуын зерттейді. Нақты шешімдерді табу үшін тангенс және котангенс функциялары әдісі қолданылады. Бұл әдіс математикалық физиканың сызықтық емес теңдеулерін шешуде тиімді. Периодты толқындар түрінде әртүрлі шешімдер алынды. Шешім графиктері ұсынылған.*

**Түйін сөздер:** *нақты шешімдер, тангенс-котангенс әдісі, екі өлшемді, сызықтық емес Шредингер теңдеуі, қарапайым дифференциалдық теңдеу, дербес туынды дифференциалдық теңдеу.*

**Г. Н. ШАЙХОВА, А. А. ҚАЙЫРБЕКОВА, С. К. БУРГУМБАЕВА**

*Евразийский национальный университет имени Л.Н Гумилева, г. Астана, Казахстан  
e-mail: g.shaikhova@gmail.com*

## **ТОЧНЫЕ РЕШЕНИЯ ДВУМЕРНОГО НЕЛИНЕЙНОГО УРАВНЕНИЯ ШРЕДИНГЕРА**

*Нелинейное уравнение Шредингера как классическая модель в физике является актуальной проблемой, требующей изучения. Получение точного решения соответствующей модели может не только обеспечить теоретическую поддержку эксперимента, но и дать основу для решения практических задач.*

*В данной работе исследуется распространение волн двумерного нелинейного уравнения Шредингера в нелинейной среде с дисперсией. Для поиска точных решений применен метод функций тангенса и котангенса. Этот метод является эффективным при решении нелинейных уравнений математической физики. Получены различные решения в виде периодических волн. Представлены графики решений.*

**Ключевые слова:** *точные решения, метод тангенса-котангенса, двумерное, нелинейное уравнение Шрёдингера, обыкновенное дифференциальное уравнение, дифференциальное уравнение в частных производных.*

---

---

## СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ

1. Абдияхметова З. М. – Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
2. Абдугулова Ж. К. – к.э.н., доцент, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
3. Азанбай Қ. Т. – магистр технических наук, преподаватель КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
4. Азиева Н. Т. – старший преподаватель, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
5. Айнакеева Н. Ж. – докторант механико-математического факультета КазНУ им. аль-Фараби, научный сотрудник Института механики и машиноведения им. У.А. Джолдасбекова, г. Алматы, Казахстан
6. Алексеева Л. А. – доктор физ.-мат. наук, гнс Института математики и математического моделирования МНВО РК, г. Алматы, Казахстан
7. Алпысбай Г. Е. – магистр, PhD докторант, преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
8. Амандиков М. А. – Университет Дружбы народов им. ак. А. Кутатбекова, г. Шымкент, Казахстан
9. Амантай Б. Д. – магистрант, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
10. Арыстанбаев К. Е. – Южно-Казахстанская медицинская академия, г. Шымкент, Казахстан
11. Астеро Провата – доктор, Институт нанонауки и нанотехнологий, г. Афины, Греция
12. Ахметов Б. С. – д.т.н., профессор, академик НИА РК, Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан

13. Байжанов Б. С. – доктор физико-математических наук, член-корреспондент НАН РК, заместитель генерального директора Института математики и математического моделирования, г. Алматы, Казахстан; профессор SDU University, г. Каскелен, Казахстан
14. Балтабай Д. Қ. – докторант, КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
15. Бедельбаев А. А. – кандидат физ.-мат. наук, профессор, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
16. Береке М. Б. – докторант, Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан
17. Бельгинова С. А. – PhD, кафедра информационных технологий, Университет «Туран», г. Алматы, Казахстан
18. Бургумбаева С. К. – Евразийский национальный университет имени Л.Н Гумилева, г.Астана, Казахстан
19. Витулёва Е. С. – Национальная инженерная академия Республики Казахстан; Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан
20. Ермухамбетова Б. Б. – Национальная инженерная академия Республики Казахстан; Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан
21. Дадаева А. Н. – к.ф.-м.н., ассоц. профессор КазНИТУ им. Сатпаева К.И., г.Алматы, Казахстан
22. Даненова Г. Т. – к.т.н., доцент, Карагандинский технический университет имени А. Сагинова, г. Караганда, Казахстан
23. Досмағамбет Н. Қ. – магистр, докторант 2 курса по специальности «робототехнических систем», КазНУ им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан
24. Дуйсенбекқызы Ж. – магистр, старший преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
25. Еруланова А. Е. – PhD, преподаватель Усть-Каменогорского высшего политехнического колледжа, г. Усть-Каменогорск, Казахстан



- 
26. Жаксылык Ж. – Южно-Казахстанский университет имени М. Ауезова, г.Шымкент, Казахстан
27. Жарболов А. А. – ученик 11 класса, Республиканская физико-математическая школа, г. Алматы, Казахстан
28. Жилкишбаев А. А. – ведущий специалист центра развития образовательных ресурсов, Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова, г. Актау, Казахстан
29. Жолдасов Е. Н. – магистр, предприниматель, г. Шымкент, Казахстан
30. Жумадиллаева А. К. – канд. техн. наук, ЕНУ им. Л. Гумилева, г. Астана, Казахстан
31. Жунусова Ж. Х. – к. физ.-мат.н., профессор кафедры математики Казахского национального университета имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
32. Замбарная Т. С. – PhD, ведущий научный сотрудник Института математики и математического моделирования, г. Алматы, Казахстан
33. Заманова С. К. – магистр технических наук, старший преподаватель КазНУ имени аль-Фараби
34. Зиятбекова Г. З. – PhD, и.о. доцента Казахского национального университета имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан; ст. научный сотрудник Института информационных и вычислительных технологий КН МНВО РК, г. Алматы, Казахстан
35. Ибраев А. С. – PhD, и.о. доцента, КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
36. Избасова Н. Б. – докторант, Каспийский университет технологий и инжиниринга имени Ш.Есенова, г. Актау, Казахстан
37. Иманбек Б. – Казахский национальный университет им.аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
38. Искакова А. Т. – магистр, старший преподаватель кафедры информационных систем, Алматинский Технологический Университет, г. Алматы, Казахстан
39. Карчевский А. Л. – д.ф.-м.н., доцент, Новосибирский государственный университет, г. Новосибирск, Россия

40. Кацага Т. Я. – PhD, ведущий инженер, Университет Торонто, г. Торонто, Канада
41. Коккоз М. М. – к.п.н., доцент, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан
42. Қайырбекова А. А. – Евразийский национальный университет имени Л.Н Гумилева, г. Астана, Казахстан
43. Кобеева З. С. – Шымкентский Университет, г. Шымкент, Казахстан
44. Лахно В. А. – д.т.н, профессор, Национальный университет биоресурсов и природопользования, г. Киев, Украина
45. Мағазов Р. С. – магистр, преподаватель КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
46. Мун Г.А. – Национальная инженерная академия Республики Казахстан; Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
47. Мусабекова Л. М. – Южно-Казахстанская медицинская академия, г. Шымкент, Казахстан
48. Нарбаева С. М. – магистр, старший преподаватель КазНУ имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
49. Оралбекова Ж. О. – PhD, ассоциированный профессор, доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
50. Приказчиков Д.А. – доктор PhD, старший преподаватель, Keele University, Staffordshire
51. Ошанова Н. Т. – заведующая кафедры «Информатика и информатизация образования», Казахский Национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан
52. Рахматулла З. А. – магистр, докторант 1 курса по специальности «робототехнических систем», КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
53. Рустамов Самир Сабир Оглы – PhD, директор программы BSCS, Компьютерные и информационные науки, Университет ADA, г. Баку, Азербайджан

- 
54. Сагитжанов Б. М. – магистр, докторант 3 курса по специальности «робототехнических систем», КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
55. Сайлауқызы Ж. – PhD, и.о. доцента, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан
56. Саяжанова А. Ж. – магистрант, Карагандинский технический университет имени Абылкаса Сагинова, г. Караганда, Казахстан
57. Сулейменова С. Т. – PhD, старший преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
58. Султан Аян – директор ТОО «Cloud Services», г. Алматы, Казахстан
59. Сулейменов И. Э. – Национальная инженерная академия Республики Казахстан, г. Алматы, Казахстан
60. Темирбекова Ж. Е. – Казахский национальный университет им.аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
61. Тасова М. Т. – докторант, КазНУ им. аль-Фараби, г.Алматы, Казахстан
62. Ташенова Ж. М. – PhD, старший преподаватель ЕНУ им. Л. Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
63. Тлеген М. Н. – магистр, преподаватель, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
64. Тлеубердин С. Т. – магистр компьютерных сетей и кибербезопасности, магистр, Евразийский национальный университет имени Л.Н.Гумилева, г. Астана, Казахстан
65. Тойганбаева Н. А. – докторант по специальности «Информатика», Казахский национальный университет имени аль-Фараби. г. Алматы, Казахстан
66. Толенов С. А. – магистр, докторант 3 курса по специальности «робототехнических систем», КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
67. Толеушова А. М. – магистр, докторант 2 курса по специальности «робототехнических систем», КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан

68. Туркен Г. – Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
69. Тюлепбердинова Г. А. – к. ф.-м. н., профессор кафедры искусственного интеллект и Big data Казахского национального университета имени аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан.
70. Увалиева И. М. – PhD, кафедра инженерной математики, Восточно-Казахстанский технический университет им. Д. Серикбаева, г. Усть-Каменогорск, Казахстан
71. Умбетбаев О. А. – магистр математики, научный сотрудник Института математики и математического моделирования, г. Алматы, Казахстан
72. Усманова А. М. – магистр, преподаватель, Казахский национальный университет им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
73. Ускенбаева Г. А. – PhD, и. о. доцента, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан
74. Утенов М. У. – д.т.н., профессор, КазНУ им. аль-Фараби, г. Алматы, Казахстан
75. Шайхова Г. Н. – Евразийский национальный университет имени Л.Н Гумилева, г. Астана, Казахстан
76. Шолпанбаев Б. Б. – PhD, старший преподаватель, Казахский национальный педагогический университет имени Абая, г. Алматы, Казахстан
77. Шукирова А. К. – PhD, и.о. доцента, Евразийский национальный университет имени Л. Н. Гумилева, г. Астана, Казахстан

## СОДЕРЖАНИЕ

Состоялся X саммит Организации тюркских государств .....	5
<b>ИНФОРМАЦИОННЫЕ-КОММУНИКАЦИОННЫЕ ТЕХНОЛОГИИ</b>	
<i>Ж. К. Абдугулова, М. Н. Тлеген, Г. А. Ускенбаева, А. К. Шукирова, Ж. М. Ташенова, А. К. Жумадиллаева.</i> Система автоматизации нагревательной печи. ....	9
<i>Г. Алтысбай, А. Бедельбаев, А. Усманова, Ж. Дуйсенбеккызы.</i> Сравнительный анализ алгоритмов машинного обучения, используемых для анализа вредоносного ПО .....	22
<i>Б. С. Ахметов, А. Лахнов, Н. Т. А. А. Ошанова, Жилкишибаев, М. Б. Береке, Н. Б. Избасова.</i> Моделирование минимального количества узлов кластера виртуализации частного университетского облака .....	33
<i>А. Е. Еруланова, С. С. Рустамов, И. М. Увалиева, А. К. Шайханова, С. А. Бельгинова.</i> Математическое обеспечение системы дозирования сухих сыпучих материалов лекарственных средств, применяемых при клинико-гематологических синдромах .....	45
<i>Ж. Жаксылык, Л. М. Мусабекова, К. Е. Арыстанбаев, М. А. Амандиков, З. С. Кобеева.</i> Компьютерное моделирование сворминга с агрегацией частиц в дисперсных системах .....	56
<i>Г. З. Зиятбекова, Б. Д. Амантай, С. М. Нарбаева, С. К. Заманова, К. Т. Азанбай, Р. С. Магазов.</i> Анализ бизнес-процессов полиграфического предприятия и моделирование системы управления .....	65
<i>А. Ж. Саяжанова, Ж. Сайлаукызы, М. М. Коккоз, Т. Я. Кацага, Г. Т. Даненова.</i> Исследование веб-сервиса для анализа путей и средств прогнозирования и предотвращения внезапных выбросов угля и газа в угольных шахтах .....	74
<i>И. Э. Сулейменов, Б. Б. Ермухамбетова, Е. С. Витулёва, Г. А. Мун.</i> Разработка искусственного интеллекта оборонного значения: взгляд с позиций концепции цифрового бессмертия .....	82
<i>Ж. Е. Темирбекова, З. М. Абдиахметова, Б. Иманбек, Г. Туркен.</i> Сравнительный анализ методов классификации данных при прогнозировании цен TRADE-IN АВТО .....	98
<i>С. А. Толенов, Б.М. Сагитжанов, Е. Н. Жолдасов, А. М. Толеушова, Н. К. Досмагамбет, З. А. Рахматулла, А. Т. Искакова.</i> Структурно-параметрический синтез параллельного манипулятора с двумя ползунами .....	106
<i>С. Т. Тлеубердин, Е. Н. Сейткулов.</i> Классификация киберугроз для Интернет вещей .....	115

<i>Н. А. Тойганбаева, Ж. Х. Жунусова, А. Провата, Г. А. Тюлепбердинова.</i> Распознавание офлайн-рукописных текстов на казахско-русском языке на основе моделей глубокого обучения .....	126
<i>М. У. Утенов, Д. К. Балтабай.</i> Прямая позиционная задача кинематики $rrrr$ манипулятора в программной среде MAPLE .....	138
<i>Б. Б. Шолпанбаев, Ж. О. Оралбекова, А. Л. Карчевский, Н. Т. Азиева.</i> Интерпретация данных георадара для поиска скрытых изолированных объектов .....	148

## **ПРИКЛАДНАЯ МАТЕМАТИКА**

<i>Л. А. Алексеева, Д. А. Приказчиков, А. Н. Дадаева, Н. Ж. Айнакеева.</i> Краевые задачи динамики термоупругих стержней и их решения .....	156
<i>Б. С. Байжанов, Т. С. Замбарная, О. А. Умбетбаев.</i> Малые упорядоченные теории и свойства квази-следования на 1-типе .....	167
<i>А. Жарболов.</i> Ранг чисел $A$ -функций .....	179
<i>М. Т. Тасова, А. С. Ибраев.</i> Тесная интеграция ГНСС/ИНС .....	185
<i>Е. С. Темирбеков, Б. Карасаев, Ж. Т. Айтуганова.</i> Исследование механики схватов роботов-манипуляторов для адаптивного равномерного захвата объектов .....	196
<i>Г. Н. Шайхова, А. А. Кайырбекова, С. К. Бургумбаева.</i> Точные решения двумерного нелинейного уравнения шредингера .....	208
<b>СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ</b> .....	215



## CONTENTS

The X summit of the Organization of Turkic States was held .....	5
<b>INFORMATION AND COMMUNICATION TECHNOLOGIES</b>	
<i>J. K. Abdugulova, M. N. Tlegen, G. A. Uskenbayeva, A. K. Shukirova, J. M. Tashenova, A. K. Zhumadillayeva.</i> Heating furnace automation system .....	9
<i>G. Alpysbay, A. Bedelbayev, A. Usmanova, Zh. Duisenbekkyzy.</i> Comparative analysis of machine learning algorithms used in malware analysis .....	22
<i>B. S. Akhmetov, V. A. Lakhno, N. T. Oshanova, A. A. Zhilkishbayev, M. B. Bereke, N. B. Izbasova.</i> Modeling of the minimum number of nodes of a private university cloud virtualization cluster .....	33
<i>A. E. Erulanova, S. S. Rustamov, I. M. Uvaliyeva, A. K. Shaikhanova, S. A. Belginova.</i> Mathematical support for dosing systems of dry bulk materials of medicines used in clinical and hematological syndromes .....	45
<i>Zh. Zhaksylyk, L. Musabekova, K. Arystanbayev, M. Amandikov, Z. Kobeyeva.</i> Computer simulation of swarming with aggregation of particles in dispersive systems .....	56
<i>G. Z. Ziyatbekova, B. D. Amantay, S. M. Narbayeva, S. K. Zamanova, K. T. Azanbay, R. S. Magazov.</i> Analysis of business processes of a printing enterprise and modeling the management system .....	65
<i>A. Zh. Sayazhanova, Zh. Sailaukyzy, M. M. Kokkoz, T. Ya. Katsaga, G. Danenova.</i> Research for a web service to analyze ways and means of forecasting and preventing sudden emissions of coal and gas in coal mines .....	74
<i>I. E. Suleimenov, B. B. Yermukhambetova, Y. S. Vitulyova, G.A. Mun.</i> Development of artificial intelligence for defense purposes: a view from the standpoint of the concept of digital immortality .....	82
<i>Zh. E. Temirbekova, Z. M. Abdiakhmetova, B. Imanbek, G. Turken.</i> Comparative analysis of data classification methods for prediction of trade-in auto prices .....	98
<i>S. A. Tolenov, B. M. Sagitzhanov, E. N. Zholdasov, A. M. Toleushova, N. K. Dosmagambet, Z. A. Rahmatulla, A. T. Iskakova.</i> Structural- parametric synthesis of a parallel manipulator with two sliders .....	106
<i>S. T. Tleuberdin, Y. N. Seitkulov.</i> Classification of cyber threats for internet of things .....	115
<i>N. A. Toiganbayeva, Zh. Zhunussova, A. Provata, G. A. Tyulepberdinova.</i> Recognition of offline handwritten texts in kazakh-russian based on deep learning models .....	126

<i>M. U. Utenov, D. K. Baltabay.</i> Direct positional kinematics problem of the rrrrt manipulator in the maple software environment.....	138
<i>B. B. Sholpanbaev, Zh. O. Oralbekova, A. L. Karchevsk, N. T. Aziyeva.</i> Interpretation of georadar data to search for hidden isolated objects .....	148

## **APPLIED MATHEMATICS**

<i>L. A. Alekseyeva, D. A. Prikazchikov, A. N. Dadaeva, N. J. Ainakeeva.</i> Boundary value problems of the dynamics of thermoelastic rods and their solutions .....	156
<i>B. S. Baizhanov, T. S. Zambarnaya, O. A. Umbetbayev.</i> Small ordered theories and quasi-successor properties on 1-type .....	167
<i>A. Zharbolov.</i> The rank of the numbers of the a-function .....	179
<i>M. T. Tasova, A. S. Ibraev.</i> Tight gnss/ins integration .....	185
<i>E. C. Темирбеков, Б.арасаев, Ж. Т. Айтуганова.</i> Исследование механики схем схватов роботов-манипуляторов для адаптивного равномерного захвата объектов .....	196
<i>G. N. Shaikhova, A. A. Kaiyrbekova, S. K. Burgumbayeva.</i> Exact solutions of the two-dimensional nonlinear schrodinger equation .....	208

<b>THE INFORMATION ABOUT AUTHORS</b> .....	215
--	-----

Редактор *М. Ахметова*  
Верстка на компьютере *Е.В. Огурцовой*

Адрес редакции:  
Национальная инженерная академия РК  
*050010, г. Алматы, ул. Богенбай батыра, 80*  
*Тел. 8(727)-2915290*

Подписано в печать 01.12.2023 г.  
Гарнитура Таймс. Формат 70x100 1/16.  
Уч.-изд. л. 10,8. Тираж 1000 экз.

*Отпечатано в типографии ТОО «Luxe Media Publishing»*