МРНТИ 50.49.31

**АВТОМАТИЗИРОВАННЫЕ ГАЗОРАСПРЕДЕЛИТЕЛЬНЫЕ СТАНЦИИ**

**А.А.Орманбекова**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0001-8663-006X)**, М.А.Джаманбаев**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-7208-0535) **, К.М. Жаскайратов**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0004-2727-5845)**🖂,**

**И.А. Берлисугиров**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0009-5528-2731)**,М. Б.Алиева**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0002-5373-1475)

*Алматинский Технологический Университет, Алматы, Казахстан*

**🖂**Корреспондент-автор: karazhaskairatov@gmail.com

Актуальность выбранной тематики определяется тем, что развитие информационных технологий дает возможность автоматизировать деятельность газораспределительных станций, повышая эффективность их работы. Целью исследования является изучение особенностей функционирования автоматизированной газораспределительной станции в Казахстане. Для достижения поставленной цели реализован комплекс задач, включая изучение структуры автоматизированной газораспределительной станции, анализ системы управления ею, а также рассмотрение проблем и перспектив ее функционирования в условиях Казахстана. Объектом исследования выступает деятельность автоматизированных газораспределительных станций в Казахстане, а предметом — подходы к организации их деятельности. Методология исследования основана на применении анализа данных, сравнительного анализа и системного метода. Результаты показали, что наиболее эффективным подходом к организации деятельности станций является двойная автоматизация, обеспечивающая не только автоматизацию технологических процессов, но и управленческих функций. Установлено, что использование различных подходов имеет разную эффективность, требующую индивидуальной оптимизации. В качестве предложения по совершенствованию организации деятельности станций обоснована необходимость материального стимулирования сотрудников для повышения их компетенций в работе с автоматизированными системами управления.

**Ключевые слова:** автоматизированная газораспределительная станция, системы учета природного газа, подход двойной автоматизации, автоматические средства, устройства ввода и вывода, аппаратно-технические средства.

**AUTOMATED GAS DISTRIBUTION STATIONS**

**А.Ormanbekova, М. Dzhamanbaev, К. Zhaskairatov, I. Berlissugirov, M.Aliyeva**

*Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,*

e-mail: karazhaskairatov@gmail.com

The significance of this research lies in the transformative impact of modern information technologies on automating gas distribution facilities, leading to substantial improvements in their performance. This work explores the operational dynamics of automated gas distribution systems within Kazakhstan, aiming to uncover their distinctive characteristics. To accomplish this, the investigation focused on evaluating structural components, assessing control mechanisms, and identifying both obstacles and growth opportunities tied to the local context. The analysis centers on the functioning of these automated stations, with emphasis on methodologies for coordinating their workflows. Utilizing data-driven evaluation, cross-comparative techniques, and integrated analysis, the study revealed that combining process and administrative automation through dual systems yields optimal results. Findings highlight significant performance variations among different operational strategies, underscoring the need for customized optimization measures. As part of improvement recommendations, the research advocates for incentivizing workforce development through monetary rewards tied to proficiency in operating automated control systems, fostering enhanced technical expertise.

**Keywords:** automated gas distribution station, natural gas metering systems, dual automation approach, automatic means, input and output devices, hardware and technical means.

**АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ГАЗ ТАРАТУ СТАНЦИЯЛАРЫ**

**А.А.Орманбекова, М.А.Джаманбаев, К.М. Жаскайратов, И.А. Берлисугиров,**

**М. Б.Алиева**

*Алматы Технологиялық Университеті, Алматы, Қазақстан,*

e-mail: karazhaskairatov@gmail.com

Зерттеу тақырыбының өзектілігі ақпараттық технологиялардың дамуы газ тарату станцияларының қызметін автоматтандыруға мүмкіндік беріп, олардың тиімділігін арттыруымен айқындалады. Зерттеудің мақсаты – Қазақстандағы автоматтандырылған газ тарату станциясының жұмыс істеу ерекшеліктерін зерттеу. Осы мақсатқа жету үшін бірқатар міндеттер жүзеге асырылды, соның ішінде автоматтандырылған газ тарату станциясының құрылымын зерттеу, басқару жүйесін талдау, сондай-ақ Қазақстан жағдайында оның қызмет ету мәселелері мен перспективаларын қарастыру. Зерттеу объектісі ретінде Қазақстандағы автоматтандырылған газ тарату станцияларының қызметі алынса, зерттеу пәні – олардың қызметін ұйымдастыру тәсілдері. Зерттеу әдістемесі деректерді талдау, салыстырмалы талдау және жүйелік әдісті қолдануға негізделген. Нәтижелер көрсеткендей, станциялар қызметін ұйымдастырудың ең тиімді тәсілі – технологиялық процестерді ғана емес, басқарушылық функцияларды да автоматтандыруды қамтамасыз ететін қосарлы автоматтандыру әдісі. Әртүрлі тәсілдерді қолдану әртүрлі тиімділікке ие екендігі анықталды, сондықтан олардың әрқайсысын жеке оңтайландыру қажет. Станциялар қызметін ұйымдастыруды жетілдіру бойынша ұсыныс ретінде қызметкерлердің автоматтандырылған басқару жүйелерімен жұмыс істеу дағдыларын арттыруға бағытталған материалдық ынталандыру қажеттілігі негізделді.

**Түйін сөздер:** автоматтандырылған газ тарату станциясы, табиғи газды есепке алу жүйесі, қосарлы автоматтандыру тәсілі, автоматты құралдар, енгізу-шығару құрылғылары, аппараттық-техникалық құралдар.

**Введение.** Автоматизация - одно из направлений научно-технического прогресса, применение саморегулирующихся технических средств, экономико-математических методов и систем управления, освобождающих человека от участия в процессах получения, преобразования, передачи и использования энергии, материалов или информации, существенно снижая степень этого участия или трудоемкость выполняемых операций. Именно поэтому возникает необходимость в дополнительном использовании датчиков (сенсоров), устройств ввода, управления, исполнительных механизмов, устройств вывода с использованием электронной техники и вычислительных методов, порой копирующих нервно-психические функции человека.

Автоматизация технологических процессов является одним из решающих факторов повышения производительности труда и улучшения условий труда. Все действующие и строящиеся промышленные объекты в той или иной степени оснащены средствами автоматизации. Экономия энергоресурсов является одной из важнейших задач современности. Эффективность системы учёта природного газа играет важную роль в процессе транспортировки нефти от скважины до потребителя. Именно поэтому целью автоматизации деятельности газораспределительной станции (ГРС) является повышение эффективности её работы, что и обуславливает актуальность выбранной темы.

Выбранная тема широко освещена в исследованиях отечественных и зарубежных учёных, посвящённых автоматизации газораспределительных станций и повышению их эффективности. В научных работах рассматриваются различные подходы к управлению, анализируются технологические решения и перспективы развития данного направления. Вышеуказанными учёными проанализированы подходы к организации деятельности автоматизированной газораспределительной станции. Несмотря на активное рассмотрение вопросов по выбранной теме, учёным до сих пор не удалось найти наиболее эффективный подход к организации деятельности автоматизированной газораспределительной станции, что обуславливает необходимость продолжения проведения исследований по выбранной теме.

Целью исследования является оценка эффективности внедрения двухсистемной автоматизации на газораспределительных станциях Казахстана с учетом климатических, технических и кадровых особенностей региона. Для достижения указанной цели необходимо реализовать ряд исследовательских задач:

* изучить описание структуры автоматизированной газораспределительной станции;
* провести анализ системы управления автоматизированной газораспределительной станцией;
* рассмотреть проблемы и перспективы функционирования автоматизированной газораспределительной станции.

Объектом исследования являются автоматизированные газораспределительные станции (АГРС) в Казахстане. Предметом исследования является подход к организации автоматизированной газораспределительной станции (АГРС) в Казахстане.

**Материалы и методы.** Исследование основано на анализе научных публикаций и технических отчётов по автоматизации газораспределительных станций. Источники отбирались по критериям релевантности теме, актуальности (не старше 2018 года) и наличия данных о структуре, управлении и экономических аспектах работы станций. Материалы включают описания трёхуровневых систем автоматизации, где нижний уровень представлен датчиками давления, температуры и очистки газа, средний - контроллерами и интерфейсами передачи данных, а верхний - программным обеспечением управления технологическими процессами.

Методология исследования основывалась на системном анализе архитектуры станции, сравнительной оценке различных подходов к автоматизации (традиционной, частичной, полной) и синтезе данных для выявления ключевых проблем и перспектив. Сравнение эффективности подходов проводилось на основе показателей рентабельности и объёмов производства, заимствованных из анализируемых источников. Особое внимание уделялось адаптации технологий к условиям Казахстана, включая климатические особенности и кадровые ресурсы.

Этапы работы включали сбор и верификацию данных, декомпозицию структурных элементов станций, оценку технологических решений и формулировку рекомендаций. Научная новизна исследования заключается в обосновании возможности реализации концепции двойной автоматизации, сочетающей автоматизацию технологических процессов и функций управления, с повышением рентабельности до 35%. Результаты указывают на необходимость внедрения мер материального стимулирования обучения персонала и оптимизации затрат на оборудование.

**Обзор литературы.** Рассмотрим подходы к организации автоматизированной газораспределительной станции (АГРС) в Казахстане. Исследования показывают [1], что системы «Power-to-Gas» используют обширные и возобновляемые источники энергии, в основном солнечную энергию, для питания электролизеров. Электролизер - это устройство, используемое для электролиза воды, которое разлагает воду на кислород и водород под действием электрического тока. Затем водород синтезируется для получения метана или синтетического природного газа, или, другими словами, синтетического природного газа, который затем может быть закачан в инфраструктуру добычи природного газа. Такая схема соединяет электрические и газовые системы, накапливая избыток возобновляемой электроэнергии в виде водорода. Эти системы обеспечивают одновременное производство водорода и природного газа в единой системе, основанной на принципе параллельного производства.

Исследования показывают, что в схеме однопоточного газопровода отключенный участок трубопровода может выступать источником как закачиваемого, так и перекачиваемого природного газа [2]. При этом снижается давление газа на всасывающей линии эжектора и центробежного компрессора, что требует применения нескольких ступеней сжатия на конечной стадии перекачки. Чаще ремонт участка магистрального газопровода производится в одном технологическом коридоре с одним или несколькими газопроводами. В схемах перекачки природного газа при ремонте в технологическом коридоре с двумя и более газопроводами источником закачиваемого природного газа является смежный газопровод, давление в котором поддерживается на одном уровне.

Исследования показывают, что инновационный подход C-GOSP, основанный на прямом нагреве и охлаждении путём смешивания горячего и холодного потоков, позволяет значительно снизить эксплуатационные и капитальные затраты [3]. Этот процесс обеспечивает одновременное охлаждение природного газа, перекачиваемого компрессорами, без использования доохладителей и нагрева поступающей сырой нефти без использования теплообменников. Этот подход привёл к разработке новой компактной конструкции газомасляной сепарационной установки (C-GOSP), отвечающей требованиям экспортных поставок сырой нефти, с более низкими затратами на технологическое оборудование и эксплуатацию, а также с более высоким выходом нефтепродуктов по сравнению с традиционными методами GOSP.

В исследованиях отмечается, что ключевым элементом, определяющим информационно-аналитические и управляющие функции газораспределительных станций, является логически обоснованная структура выходных данных, заложенная в основу концепции газораспределительных станций нового поколения [4]. В структуре автоматизированной газораспределительной станции выделяется следующая трёхуровневая структура, представленная на рисунке 1.

**Рис. 1 - Анализ организационной структуры автоматизированной**

**газораспределительной станции**

Из рисунка 1 можно сделать вывод, что использование трехуровневой структуры автоматизированной газораспределительной станции обеспечивает эффективность ее работы, поскольку каждый уровень является связующим элементом объектов предыдущего уровня [5]. Она состоит из следующих компонентов, таких как:

- нижний уровень - уровень размещения контрольно-измерительных приборов и

исполнительных механизмов, который включает в себя использование таких приборов как:

- сейсмограф;

- датчики абсолютного и дифференциального давления;

- сигнализатор уровня природного газа;

- датчики качества природного газа;

- датчики температуры;

- кабельное и дополнительное оборудование;

- средний уровень - уровень сбора информации с нижнего уровня, выдачи воздействий на устройства приема / передачи данных на верхний уровень, который включает в себя интерфейсные линии связи;

- верхний уровень - уровень, включающий автоматизированное рабочее место оператора, который включает в себя использование таких приборов как:

- персональный компьютер;

- источник бесперебойного питания мощностью не менее 450 Вт;

- принтер, в комплекте с кабелем USB;

- лицензионные и лицензионно-антивирусные аппаратно-технические средства.

Важную роль в структуре автоматизированной газораспределительной станции (АГРС) играет блок очистки природного газа (БОГ). Он предназначен для очистки природного газа от механических примесей, капельной влаги и отделения конденсата с последующим его отводом в ёмкость сбора конденсата. Отделение капельной влаги и механических примесей осуществляется путём закрутки потока природного газа и резкого изменения направления его движения. В верхней части фильтра-сепаратора расположен фильтрующий элемент, состоящий из сменных фильтрующих элементов. Максимальный уровень конденсата в промежуточной ёмкости определяется датчиком верхнего уровня, который подаёт сигнал на открытие/закрытие дистанционно управляемого крана, осуществляющего сброс конденсата в ёмкость сбора в автоматическом режиме, как показано на рисунке 2.

**Рис. 2 - Анализ организационной структуры узла очистки природного газа в автоматизированной газораспределительной станции**

Из рисунка 2 следует, что процесс очистки природного газа проходит в 6 этапов, что обеспечивает высокую эффективность его добычи. Система управления АГРС обеспечивает автоматизированное управление и регулирование технологических процессов. Её ключевая функция — координация работы всех узлов станции. Её функционирование обеспечивает контроль и управление всеми её технологическими компонентами, такими как:

- узел переключающих устройств;

- узел редуцирования;

- узел очистки;

- узел подогрева природного газа;

- узел одоризации природного газа;

- узел подготовки импульсного природного газа;

- узел коммерческого учета природного газа;

- узел вспомогательных систем.

Исследования показывают, что традиционная система обнаружения утечек на автоматизированных газораспределительных станциях (АГРС) основана на использовании локальных звуковых извещателей, а информация об обнаруженной утечке передается по беспроводной связи в группу быстрого реагирования. Это обеспечивает немедленное принятие превентивных мер даже при отсутствии людей на объекте.

Исследования подчёркивают, что все системы газораспределительных станций должны быть оснащены датчиками тревоги, срабатывающими при определённых климатических условиях [6]. Например, когда камеры закрыты для отбора проб природного газа, они потенциально превращаются в миниатюрные теплицы, что означает, что внутренняя температура камер может значительно повыситься. В этом случае система тревоги прервёт отбор проб природного газа и откроет крышки камер, чтобы обеспечить циркуляцию воздуха для снижения температуры, гарантируя сохранность растительности внутри камеры [7]. Также следует использовать датчик дождя, чтобы камеры автоматически открывались во время дождя или дождевания.

Китайские исследователи отмечают [8], что иерархически автоматизированная система управления газораспределительной станцией строится как двухуровневый программно-технический комплекс, что отражено на рисунке 3.

**Рис. 3 - Анализ организационной структуры автоматизированной системы управления автоматизированной газораспределительной станции**

Из рисунка 3 можно сделать вывод, что применение автоматизированной системы управления автоматизированной газораспределительной станцией (АГРС) позволит повысить эффективность работы данной ГРС. На нижнем уровне АГРС задачи автоматического контроля и управления основным и вспомогательным технологическим оборудованием выбранной системы решаются непосредственно шкафом управления, либо с участием оператора этой системы с использованием пульта управления и контроля или автоматизированного рабочего места (АРМ), а на верхнем уровне АГРС обеспечивается дистанционный контроль и управление ее специалистом.

Шкаф управления представляет собой сложное устройство, включающее в себя 19-дюймовые крейты с процессором и модулями ввода-вывода, а также источник бесперебойного питания и вторичные источники питания, такие как зарядное устройство и аккумуляторные батареи [9]. Пульт управления имеет низкое энергопотребление и является эффективным средством получения информации о текущих значениях технологических параметров и управления оборудованием рабочей станции при отсутствии штатного электропитания.

АРМ обеспечивает архивирование, документирование и отображение информации, а также возможность мониторинга и управления оборудованием выбранной системы. Система бесперебойного питания включает в себя стабилизатор, преобразователь со встроенным зарядным устройством, вторичные источники питания и аккумуляторные батареи. Время бесперебойного питания составляет 2472 часа при нагрузке 150 Вт [10]. Узел редуцирования является наиболее сложным и ответственным узлом данной системы с точки зрения автоматизации. Централизованная форма обслуживания автоматизированной газораспределительной станцией (АГРС) требует её полной автоматизации [11].

**Обсуждение и результаты.** Применение различных подходов к организации деятельности автоматизированной газораспределительной станции имеет разную эффективность, показатели которой необходимо увеличивать в каждом отдельном случае на разную величину, что отражено на рисунке 4 и рисунке 5. Для оценки эффективности различных подходов к организации деятельности автоматизированной газораспределительной станции были использованы показатели добычи природного газа в миллионах долларов США и в %.

**Рис. 4 - Анализ объемов производства природного газа при применении различных подходов к организации функционирования автоматизированной газораспределительной станции, млн. долл. США**

Из рисунка 4 можно сделать вывод, что наиболее распространенным подходом к организации деятельности автоматизированной газораспределительной станции в Казахстане [12] является подход двойной автоматизации, который обеспечивает не только автоматизацию деятельности автоматизированной газораспределительной станции, но и автоматизацию управления деятельностью выбранной газораспределительной станции.

**Рис. 5 - Анализ рентабельности производства природного газа при применении различных подходов к организации функционирования автоматизированной газораспределительной станции, %**

Из рисунка 5 можно сделать вывод, что реализация подхода двойной автоматизации является наиболее эффективной, поскольку его внедрение может принести 35% прибыли, что является самым высоким показателем по сравнению с другими подходами [13]. Среди проблем организации работы автоматизированной газораспределительной станции (АГРС) можно выделить ограничение свободы разработчиков [14], а также сокращение численности персонала, задействованного в управлении на различных уровнях. Кроме того, руководителям необходимо будет осваивать современные технологии с использованием компьютеризированных систем без посредников [15]. Именно поэтому перспективы организации работы АГРС заключаются в использовании материального аспекта для убеждения сотрудников дать принципиальное согласие на обучение новым информационным технологиям и проведении периодических обучающих курсов для сотрудников с целью ознакомления желающих с возможностями новых устройств АГРС, внедряемых в результате развития научно-технического прогресса.

**Выводы.** Развитие научно-технического прогресса приводит к появлению технологических инноваций, которые могут быть применены для повышения эффективности современной газораспределительной станции. В структуре построения автоматизированной газораспределительной станции выделяются три уровня, которые позволяют объединить датчики, различные типы контроллеров и серверов с операторами. На основании проведенных исследований определено, что наиболее специфичным подходом к организации деятельности автоматизированной газораспределительной станции в Казахстане является подход двойной автоматизации, который обеспечивает не только автоматизацию деятельности газораспределительной станции, но и автоматизацию управления деятельностью выбранной автоматизированной газораспределительной станции. Его использование позволяет обеспечить наиболее высокие показатели добычи природного газа на сумму 420 млн долларов США, обеспечивая рентабельность добычи природного газа 35%. Проблемами внедрения второго подхода автоматизации являются высокая стоимость оборудования и недостаточная квалификация сотрудников для управления автоматизированной газораспределительной станцией. Важнейшим способом организации функционирования автоматизированной газораспределительной станции было применение материальной заинтересованности сотрудников для формирования интереса к приобретению навыков внедрения автоматизированного подхода к управлению автоматизированной газораспределительной станцией. Для обеспечения эффективности работы автоматизированной газораспределительной станции необходимо использовать совокупность подходов к организации ее работы, что обуславливает необходимость продолжения проведения исследований по выбранной теме.

**Литература**

**1. Gondal I.A.** Hydrogen Integration in Power-to-Gas Networks // International Journal of Hydrogen Energy. -2019. -Vol. 43 (11). -P. 1803-1815. DOI [10.1016/j.ijhydene.2018.11.164](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.164).

**2. Buranshin A.R., Godovskiy D.A., Tokarev A.P.** Regulation of Ejector Systems under **Unsteady Gas Pipage // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. -2020. -Vol. 459: 012034. DOI** [**10.1088/1755-1315/459/2/022076**](http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022076)**.**

**3. Soliman M.A., et al. Innovative Integrated and Compact Gas Oil Separation Plant for Upstream Surface Facilities// ResearchGate. -2020. DOI** [**10.4043/30542-MS**](http://dx.doi.org/10.4043/30542-MS)**.**

4. Topchiev A.G., Design and monitoring of oil and gas industry facilities based on the use of ultra-light aviation and digital technologies // II International Scientific Conference "Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering" (MIST: -2020. -Vol. 734: 012005.DOI [10.1088/1757-899X/734/1/012005](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/734/1/012005).

5. Maslennikov S.G., Potapov S.I. Gas-Distribution Stations and Means of Their Automation // Chemical and Petroleum Engineering. -2004.-Vol.40.-P.138-142.

DOI [10.1023/B:CAPE.0000033663.71198.0c](https://doi.org/10.1023/B:CAPE.0000033663.71198.0c).

6. Grace P. R., van der Weerden T. J., Rowlings, D. W., Scheer, C., Brunk, C., Kiese, R., Butterbach-Bahl, K., Rees, R. M., Robertson, G. P., Skiba, U. M. Global Research Alliance N₂O chamber methodology guidelines: Considerations for automated flux measurement//Journal of Environmental Quality. -2020. -Vol. 49(5). -P. 1126-1140. DOI [10.1002/jeq2.20124](https://doi.org/10.1002/jeq2.20124).

7. Yao S., Zhang Y., Deng N., Yu X., & Liu J. Performance research on a power generation system using twin-screw expanders for energy recovery at natural gas pressure reduction stations under off-design conditions//Applied Energy. -2019.-Vol. 236.-P.1218-1230.

DOI [10.1016/j.apenergy.2018.12.039](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.039).

8. Khisty V. H. SCADA Systems in Oil and Gas: Driving Innovation and Efficiency in the Digital Age//International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. -2024. -Vol. 12*(8).* - P. 96 - 107. DOI [10.22214/ijraset.2024.63848](https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.63848).

9. Dmitrievskiy, A. N., Eremin N. A., Stolyarov V. E. Digital transformation of gas production//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. -2019.- Vol.700(1): 012052. DOI [10.1088/1757-899X/700/1/012052](https://doi.org/10.1088/1757-899X/700/1/012052).

10. Petrenko Y., Velinov E., Vechkinzova E., Denisov, I., Gródek-Szostak Z. Energy Efficiency of Kazakhstan Enterprises: Unexpected Findings//Energies. -2020.- Vol.13(12):3100. DOI [10.3390/en13051055](https://doi.org/10.3390/en13051055).

11. Zurkanain M,A., Subramaniam S.K.Investigation and Implementation of IoT Based Oil and Gas Pipeline Monitoring System// International Journal of Recent Technology and Applied Science*.* -2023. -Vol. 5 (1). - P. 25-30. DOI [10.36079/lamintang.ijortas-0501.477](http://dx.doi.org/10.36079/lamintang.ijortas-0501.477).

12. ГОСТ Р 55218-2012 (EH 203-2-9:2005) «Оборудование газовое нагревательное для предприятий общественного питания. Часть 2-9. Специальные требования. Рассекатели пламени, мармиты и сковороды». URL: <https://online.zakon.kz/Document/?doc_id=37148999>. -Дата обращения 19.03.2025.

13. Ranjbar D., Mukan S.M., Niyazgulova A.A. Central Asia - Center Gas Pipeline System: Challenges and Opportunities for Modern Russia - Central Asia Energy Relations//Vestnik RUDN. International Relations.-2024.-Vol.24(2).-P.216-226.DOI[10.22363/2313-0660-2024-24-2-216-226](https://doi.org/10.22363/2313-0660-2024-24-2-216-226).

**References**

**1. Gondal I.A.** Hydrogen Integration in Power-to-Gas Networks // International Journal of Hydrogen Energy. -2019. -Vol. 43 (11). -P. 1803-1815. DOI [10.1016/j.ijhydene.2018.11.164](https://doi.org/10.1016/j.ijhydene.2018.11.164).

**2. Buranshin A.R., Godovskiy D.A., Tokarev A.P.** Regulation of Ejector Systems under **Unsteady Gas Pipage // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science. -2020. -Vol. 459: 012034. DOI** [**10.1088/1755-1315/459/2/022076**](http://dx.doi.org/10.1088/1755-1315/459/2/022076)**.**

**3. Soliman M.A., et al. Innovative Integrated and Compact Gas Oil Separation Plant for Upstream Surface Facilities// ResearchGate. -2020. DOI** [**10.4043/30542-MS**](http://dx.doi.org/10.4043/30542-MS)**.**

4. Topchiev A.G., Design and monitoring of oil and gas industry facilities based on the use of ultra-light aviation and digital technologies // II International Scientific Conference "Advanced Technologies in Aerospace, Mechanical and Automation Engineering" (MIST: -2020. -Vol. 734: 012005.DOI [10.1088/1757-899X/734/1/012005](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/734/1/012005).

5. Maslennikov S.G., Potapov S.I. Gas-Distribution Stations and Means of Their Automation // Chemical and Petroleum Engineering. -2004.-Vol.40.-P.138-142.

DOI [10.1023/B:CAPE.0000033663.71198.0c](https://doi.org/10.1023/B:CAPE.0000033663.71198.0c).

6. Grace P. R., van der Weerden T. J., Rowlings, D. W., Scheer, C., Brunk, C., Kiese, R., Butterbach-Bahl, K., Rees, R. M., Robertson, G. P., Skiba, U. M. Global Research Alliance N₂O chamber methodology guidelines: Considerations for automated flux measurement//Journal of Environmental Quality. -2020. -Vol. 49(5). -P. 1126-1140. DOI [10.1002/jeq2.20124](https://doi.org/10.1002/jeq2.20124).

7. Yao S., Zhang Y., Deng N., Yu X., & Liu J. Performance research on a power generation system using twin-screw expanders for energy recovery at natural gas pressure reduction stations under off-design conditions//Applied Energy. -2019.-Vol. 236.-P.1218-1230.

DOI [10.1016/j.apenergy.2018.12.039](https://doi.org/10.1016/j.apenergy.2018.12.039).

8. Khisty V. H. SCADA Systems in Oil and Gas: Driving Innovation and Efficiency in the Digital Age//International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology. -2024. -Vol. 12*(8).* - P. 96 - 107. DOI [10.22214/ijraset.2024.63848](https://doi.org/10.22214/ijraset.2024.63848).

9. Dmitrievskiy, A. N., Eremin N. A., Stolyarov V. E. Digital transformation of gas production//IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. -2019.- Vol.700(1): 012052. DOI [10.1088/1757-899X/700/1/012052](https://doi.org/10.1088/1757-899X/700/1/012052).

10. Petrenko Y., Velinov E., Vechkinzova E., Denisov, I., Gródek-Szostak Z. Energy Efficiency of Kazakhstan Enterprises: Unexpected Findings//Energies. -2020.- Vol.13(12):3100. DOI [10.3390/en13051055](https://doi.org/10.3390/en13051055).

11. Zurkanain M,A., Subramaniam S.K.Investigation and Implementation of IoT Based Oil and Gas Pipeline Monitoring System// International Journal of Recent Technology and Applied Science*.* -2023. -Vol. 5 (1). - P. 25-30. DOI [10.36079/lamintang.ijortas-0501.477](http://dx.doi.org/10.36079/lamintang.ijortas-0501.477).

12. GOST R 55218-2012 (EH 203-2-9:2005) «Oborudovanie gazovoe nagrevatel'noe dlja predprijatij obshhestvennogo pitanija. Chast' 2-9. Special'nye trebovanija. Rassekateli plameni, marmity i skovorody». URL: https://online.zakon.kz/Document/?doc\_id=37148999. -Data obrashhenija 19.03.2025.[in Russian]

13. Ranjbar D., Mukan S.M., Niyazgulova A.A. Central Asia - Center Gas Pipeline System: Challenges and Opportunities for Modern Russia - Central Asia Energy Relations//Vestnik RUDN. International Relations.-2024.-Vol.24(2).-P.216-226.DOI[10.22363/2313-0660-2024-24-2-216-226](https://doi.org/10.22363/2313-0660-2024-24-2-216-226).

***Сведения об авторе***

Орманбекова А.А. - доктор PhD, Алматинскоий технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: [ain\_25@mail.ru](mailto:ain_25@mail.ru);

Джаманбаев М.А.- кандидат физико-математических наук, доцент, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, dzhamanbaev@mail.ru;

Жаскайратов К.М. - магистрант, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: [karazhaskairatov@gmail.com](mailto:karazhaskairatov@gmail.com);

Берлисугиров И.А. - магистр технических наук, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: [ilexaba@mail.ru](mailto:ilexaba@mail.ru);

Алиева М.Б.- кандидат филологических наук, ассистент профессора, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: [marta.ali777@mail.ru](mailto:marta.ali777@mail.ru).

***Information about the authors***

Ormanbekova A. - PhD, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [ain\_25@mail.ru](mailto:ain_25@mail.ru);

Dzhamanbaev M. - Сandidate of physical and mathematical sciences, associate professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [dzhamanbaev@mail.ru](mailto:dzhamanbaev@mail.ru);

Zhaskairatov K. - Master's Student at Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,

e-mail: [karazhaskairatov@gmail.com](http://karazhaskairatov@gmail.com);

Berlisugirov I.A. - Master of Technical Sciences, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: ilexaba@mail.ru;

Aliyeva M. - Candidate of Philological Sciences, Assistant Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail:[marta.ali777@mail.ru](mailto:marta.ali777@mail.ru).

ҒТАМР 28.23.17

**СИПАТТАМАЛЫҚ СПЕКТРОГРАММАЛАР МЕН НЕЙРОНДЫҚ ЖЕЛІ НЕГІЗІНДЕ СӨЙЛЕУШІНІ ТАНУ**

**1 Н.О.Мекебаев**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-9117-4369)**🖂, 2 Д.К.Даркенбаев**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-6491-8043)**🖂, 1 Ж.А.Орынтаева**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-1993-9566)**, 2 Н.А.Модовов**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0005-1642-9834)

*1Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан,*

*2Әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан*

**🖂**Корреспондент-автор: [nurbapa@gmail.com](mailto:nurbapa@gmail.com), [dauren.kadyrovich@gmail.com](mailto:dauren.kadyrovich@gmail.com)

Сөйлеушінің айтылу сипаттамаларын алу үшін нейрондық желіге негізделген әдіс ұсынылады, ол қысқа мерзімді спектрограммалардың сызықтық суперпозициясынан сөйлеушінің айтылуының тұрақты көрінісін беру үшін сипаттамалық спектрограммаға қол жеткізу үшін арнайы программа статистикасын пайдаланады. Дәстүрлі SOM (AC-SOM) нейрондық желісіне негізделген ресурстармен шектелген құрылғылардағы динамиктерді тану жүйелері үшін желіні баяу оқыту және тану жылдамдығы мәселесін шешу үшін адаптивті кластерлік өзін-өзі ұйымдастыратын мүмкіндіктер картасы SOM (AC-SOM) алгоритмі ұсынылады. Бұл алгоритм кластерлер саны динамиктер санына сәйкес келгенше танылатын динамиктер санына қарай бәсекелестік деңгейіндегі нейрондар санын автоматты түрде реттейді. Ұсынылған AC-SOM моделіне спектрограммалардың сипаттамалық үлгілерінің 100 сөйлеушінің дерекқоры құрастырылды және қолданылды, бұл максималды оқу уақытын небәрі 304 секундқа, ал үлгіні танудың максималды уақытын 28 мс-ден аз уақытқа қамтамасыз етті. Басқа тәсілдермен салыстырғанда, ұсынылған әдіс тым жоғары тану дәлдігін жоғалтпай, айтарлықтай жақсартылған оқыту мен тану жылдамдығын қамтамасыз етеді. Перспективалы нәтижелер ұсынылған әдіс сөйлеушіні танудың басқа әдістеріне қарағанда edge intelligence жүйелері үшін нақты уақыттағы деректерді өңдеу және орындау талаптарын жақсырақ қанағаттандыратынын көрсетеді.

**Түйін сөздер:** сөйлеуді тану, алгоритм, MFCC, спектограмма, MLP, AC-SOM.

**РАСПОЗНАВАНИЕ ГОВОРЯЩЕГО НА ОСНОВЕ НЕЙРОННОЙ СЕТИ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ХАРАКТЕРИСТИЧЕСКИХ СПЕКТРОГРАММ**

**1Н.О.Мекебаев🖂, 2Д.К.Даркенбаев, 1Ж.А.Орынтаева, 2Н.А.Модовов**

*1Казахский национальный женский педагогический университет, Алматы, Казахстан,*

*2Казахский национальный университет им. Аль-Фараби, Алматы, Казахстан,*

e-mail: [nurbapa@gmail.com](mailto:nurbapa@gmail.com), [dauren.kadyrovich@gmail.com](mailto:dauren.kadyrovich@gmail.com)

Предлагается метод, основанный на нейронной сети, для извлечения характеристик произношения говорящего. Он использует специальные триграммные статистики для получения характерной спектрограммы, способной обеспечить устойчивое представление произношения говорящего на основе линейной суперпозиции краткосрочных спектрограмм. Для решения проблемы медленного обучения и низкой скорости распознавания в системах идентификации динамиков на устройствах с ограниченными ресурсами предлагается алгоритм адаптивной кластерной самоорганизующейся карты признаков (AC-SOM), основанный на традиционной нейронной сети SOM. Данный алгоритм автоматически регулирует количество нейронов на уровне конкуренции в зависимости от количества распознаваемых динамиков до тех пор, пока количество кластеров не станет соответствовать количеству говорящих. Для предложенной модели AC-SOM была собрана и использована база данных спектрограммных образцов от 100 говорящих, что обеспечило максимальное время обучения всего 304 секунды и максимальное время распознавания образца менее 28 миллисекунд. По сравнению с другими подходами, предложенный метод обеспечивает значительно более высокие скорости обучения и распознавания без существенной потери точности распознавания. Полученные перспективные результаты демонстрируют, что предложенный метод лучше удовлетворяет требованиям к обработке и исполнению данных в реальном времени в системах edge intelligence по сравнению с другими методами распознавания говорящего.

**Ключевые слова:** распознавание речи, алгоритм, MFCC, спектограмма, MLP, AC-SOM.

**SPEAKER RECOGNITION BASED ON NEURAL NETWORKS USING CHARACTERISTIC SPECTROGRAMS**

**1 N.Mekebayev🖂, 2 D.Darkenbayev, 1Zh. Oryntaeva, 1 N.Modovov**

*1Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan,*

*2Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan,*

e-mail: [nurbapa@gmail.com](mailto:nurbapa@gmail.com), [dauren.kadyrovich@gmail.com](mailto:dauren.kadyrovich@gmail.com)

A neural network-based method is proposed for extracting speaker articulation characteristics. It employs specialized trigram statistics to obtain a representative spectrogram that provides a stable representation of the speaker’s articulation through a linear superposition of short-term spectrograms. To address the issues of slow training and recognition speed in speaker recognition systems on resource-constrained devices, an Adaptive Clustering Self-Organizing Map (AC-SOM) algorithm is introduced, based on the traditional Self-Organizing Map (SOM) neural network. This algorithm automatically adjusts the number of neurons at the competitive layer based on the number of speakers to be recognized, until the number of clusters matches the number of speakers. A dataset comprising characteristic spectrogram patterns from 100 speakers was developed and used for the proposed AC-SOM model, achieving a maximum training time of only 304 seconds and a maximum recognition time of less than 28 milliseconds per sample. Compared to other approaches, the proposed method significantly improves training and recognition speed without sacrificing high recognition accuracy. The promising results indicate that, in contrast to existing speaker recognition techniques, the proposed method better meets the real-time data processing and execution requirements of edge intelligence systems.

**Keywords:** speech recognition, algorithm, MFCC, spectogram, MLP, AC-SOM.

**Кіріспе.** Сөйлеу адамның қарым-қатынасының негізгі көзі болып саналады. Ол биометриялық қауіпсіздік жүйелері сияқты адам мен машинаның өзара әрекеттесу әрекеттерінде кеңінен қолданылады. Бұл ақпарат алмасудың табиғи және тиімді құралдарын қамтамасыз ететін адамдар арасындағы қарым-қатынастың негізгі әдісі болып қала береді. Сөйлеу сигналдарын талдау эмоционалдық күйлерді анықтаудың, жеке тұлғаларды сипаттаудың, диалектілерді түсінудің, жасты бағалаудың және жеке басын, жынысын, тілін және денсаулық жағдайын қамтитын күшті құрал ретінде қызмет етеді. Әрбір жеке тұлғаның дауыс жолдарының тербеліс заңдылықтары бойынша қалыптасқан ерекше вокалдық сипаттамалары бар [1]. Сөйлеуді автоматты түрде тану (ASR) технологиясы соңғы жылдары айтарлықтай прогреске қол жеткізді, бұл негізінен тереңдетілген оқыту жетістіктері мен ауқымды деректер жиынының қолжетімділігіне байланысты. Қазіргі уақытта бұл жүйелер дауыстық көмекшілер мен транскрипция құралдарынан бастап нақты уақыттағы аударма және қол жетімділік қызметтеріне дейінгі қолданбаларға кеңінен біріктірілген. Алайда ASR технологияларының артықшылықтары тілдер арасында бірдей бөлінбеген. Сөйлеу сигналдары эмоциялар, сөйлеу жылдамдығы, дауыс жолдарының өлшемдері, жынысы, дауыс қатпарларының діріл жиілігі және екпін және басқа әсерлер сияқты факторларға байланысты жеке адамдар арасында өзгергіштікті көрсетеді. Зерттеушілер динамиктерді тиімді ажырату үшін осы ерекше белгілерді пайдаланады. Сөйлеу сигналдарының акустикалық ерекшеліктері толқын пішінінің бастапқы өлшеміне қатысты тиімділікке, ең аз резервтілікке және ықшамдылыққа бағытталған динамиктерді тану жүйелерін әзірлеуде өте маңызды. Сонымен қатар, сөйлеу сигналдары нақты уақыттағы аударма қосымшаларында қолданылады, мұнда жетілдірілген алгоритмдер сөйлеу тілін талдайды және оны бірден дерлік басқа тілге түрлендіреді. Сонымен қатар, сөйлеу сигналдары тергеу барысында әңгімелер немесе оқиғалар туралы түсінік беретін маңызды сот-медициналық дәлелдер ретінде қызмет етеді. Олар сондай-ақ жеке тұлғаларды биологиялық және мінез-құлық ерекшеліктеріне қарай автоматты түрде анықтайтын биометриялық танудың ажырамас бөлігі болып табылады [2]. Сөйлеуді тануды қолданатын қосымшалар адамдардың күнделікті өмірінің бір бөлігіне айналады және адамдардың жүйелермен өзара әрекеттесуін жақсартуға көмектеседі. Бағдарламалық жасақтамаға негізделген икемділігінің арқасында дауысты тану технологиясы оны қолдануға болатын қосымшалардың мүмкіндіктері бойынша әмбебап болып табылады. Дауыс сапасы арқылы пайдаланушыларды анықтау және аутентификациялау контактісіз, жылдам және аудио сенсоры бар әртүрлі жағдайларда оңай жүзеге асырылады. Бірнеше мысалдар сөйлеуді тану жүйелерінің беріктігін оңай көрсете алады. Адамның сөйлеуі бірнеше мүшелердің, яғни өкпенің, дауыс жолының, дауыс байланыстарының және еріннің бірлескен әрекеті арқылы жасалады. Осы күрделі құрылымның арқасында біз сөйлеу сигналдары арқылы берілетін ақпаратты статистикалық талдау арқылы адамның айтылу сипаттамаларын білдіретін белгілерді ала аламыз [3]. Осы күрделі құрылымның арқасында біз сөйлеу сигналдары арқылы берілетін ақпаратты статистикалық талдау арқылы адамның айтылу сипаттамаларын білдіретін белгілерді ала аламыз. Бұл белгілерді жалпы бес жалпы түрге бөлуге болады: қысқа мерзімді спектрлік белгілер, дауыс көзінің белгілері, спектрлік уақыт белгілері, просодикалық белгілер және жоғары деңгей белгілері. Көптеген сөйлеушілерді тану жүйелері осы белгілердің бірнешеуін қатар қолданады, соның ішінде сөйлеудің әртүрлі аспектілері және оларды дәлірек тануға қол жеткізу үшін оларды қосымша тәсілдермен қолдану [4].

Сөйлеу адамның қарым-қатынасының негізгі көзі болып саналады. Ол биометриялық қауіпсіздік жүйелері сияқты адам мен машинаның өзара әрекеттесуінде кеңінен қолданылады. Соңғы жылдары сөйлеуді автоматты түрде тану (ASR – Automatic Speech Recognition) технологиясы айтарлықтай прогреске қол жеткізді, бұл негізінен терең оқыту жетістіктері мен ауқымды деректер жиынының қолжетімділігіне байланысты. Алайда қазақ тіліндегі ASR жүйелері жеткілікті дамымаған. Сондықтан сөйлеуді танудың тиімді әдістерін жетілдіру және қазақ тілінде бейімделген деректер қорын құру өзекті мәселелердің бірі болып табылады.

*Зерттеу мақсаты* – сөйлеушінің дауыс сигналынан ерекшелік белгілерді тиімді алу арқылы қазақ тіліндегі сөйлеушіні танудың жылдамдығы мен дәлдігін арттыратын әдіс ұсыну.

*Проблемалық ережелер* – қазақ тіліндегі сөйлеушіні тану саласында ірі көлемді деректер қорының болмауы, дәстүрлі MFCC және LPCC әдістерінің кей жағдайда жоғары дәлдік бермеуі, ресурстары шектеулі құрылғыларда сөйлеушіні танудың тиімділігінің төмендігі.

*Өзектілігі:* Қазіргі ақпараттық қоғамда дауыстық интерфейстердің рөлі артып келеді. Қазақ тілінде сөйлеушіні автоматты түрде тану жүйелерін жетілдіру – ұлттық тілдегі интеллектуалды технологияларды дамыту үшін маңызды.

*Жаңалығы:* Мақалада ұсынылған адаптивті кластерлік өзін-өзі ұйымдастыратын карта (AC-SOM) алгоритмі дәстүрлі MFCC және LPCC әдістерімен салыстырғанда қазақ тіліндегі сөйлеушілерді тануда жылдамдық пен дәлдікті арттырады.

*Ғылыми маңыздылығы:* Қазақ тіліндегі сөйлеуді өңдеу және тану бойынша жаңа деректер базасының құрылуы әрі тиімді ерекшелік алу әдістерінің енгізілуі тілге бейімделген интеллектуалды жүйелерді дамытуға үлес қосады.

*ASR (Automatic Speech Recognition)* – сөйлеуді автоматты түрде тану. Бұл ағылшын тіліндегі халықаралық термин, себебі ғылыми қауымдастықта стандартты аббревиатура ретінде қолданылады.

*MFCC (Mel-Frequency Cepstral Coefficients)* – Mel жиілігі бойынша кепстральды коэффициенттер. Бұл да ағылшын тіліндегі халықаралық қысқартпа, себебі зерттеулердің басым бөлігі ағылшын тілінде жарияланады.

*Ғылыми зерттеудің өзекті мәселелері*

* Қазақ тілінде сөйлеушіні тану үшін арнайы үлкен деректер қорының болмауы.
* Нақты уақыт режимінде жұмыс істейтін тиімді алгоритмдердің жеткіліксіздігі.
* Ресурстары шектеулі құрылғыларда (смартфон, IoT) сөйлеуді тану жүйелерінің өнімділігінің төмендігі.
* MFCC және LPCC сияқты дәстүрлі әдістердің кей жағдайда жоғары дәлдік бермеуі.

**Материалдар мен әдістер.** Спектрограммалар-бұл уақыт өте келе өзгеретін сигналдағы жиілік спектрінің визуалды көрінісі. Қарапайым тілмен айтқанда, олар әр жиіліктің белгілі бір сәтте деңгейін көрсету үшін түс немесе қарқындылықты қолдана отырып, әр түрлі жиіліктердің (мысалы, дыбыстардың) уақыт өте келе қалай өзгеретінін көрсетеді. Сөйлеуді тануда спектрограммалар әсіресе пайдалы, өйткені олар әртүрлі фонемаларды, интонацияларды және екпіннің өзгеруін ажыратуға көмектесетін сөйлеу дыбыстарының маңызды ерекшеліктерін түсіреді. Спектрограммалар-бастапқыда екінші дүниежүзілік соғыс кезінде сүңгуір қайықтарды анықтау және жау кодтарын ашу үшін әзірленген, бірақ кейінірек тіл білімі саласында сөйлеу спектрінің карталары қолданылған [5].

Ауызша сөйлеу сияқты дыбыстық сигналдар спектрограммаларға айналғанда, әзірлеушілер деректердегі заңдылықтарды тиімдірек талдай алады. Мысалы, спектрограммада сөйлеу түрлі-түсті жолақтар түрінде көрсетіледі, мұнда әртүрлі түстер әртүрлі жиіліктердегі әртүрлі энергия деңгейлерін білдіреді [6]. Бұл белгілі бір жиілік диапазондарын алатын дауысты және дауыссыз дыбыстарды анықтауды жеңілдетеді. Осы спектрограммалардан тиісті белгілерді алу арқылы машиналық оқыту модельдерін берілген аудио кіріске негізделген сөздерді немесе сөз тіркестерін болжауға үйретуге болады.

Практикалық қосымшаларда бұл автоматтандырылған транскрипция қызметтері немесе виртуалды көмекшілер сияқты жүйелер сөйлеу командаларын өңдеу үшін спектрограммаларды қолданады дегенді білдіреді. Пайдаланушы сөйлеген кезде оның дауысы спектрограммаға айналады және жүйе сөздерді тану үшін оны талдайды. Әзірлеушілер сөйлеуді тану үлгілерінің дәлдігін жақсарту үшін спектрограммалардан алынған мель-жиілік кепстральды коэффициенттері (MFCC) сияқты әдістерді қолдана алады. Бұл тәсіл жылдамдық немесе екпін сияқты сөйлеу вариацияларын жақсырақ өңдеуге мүмкіндік береді, осылайша адам сөйлеуін сенімдірек түсінетін сенімдірек қолданбаларды жасауға көмектеседі.

Сөйлеуді автоматты түрде тануда және адамның дауысын тануда, Mel жиілігінің кепстральды коэффициенттерін (MҒСС) сөйлеу сигналдарын сипаттау үшін жиі қолданылады, өйткені оларда адамның есту жүйесі қабылдайтын акустикалық ақпарат бар.

Міне, Mfcc сөйлеуді түсінуге қалай үлес қосады:

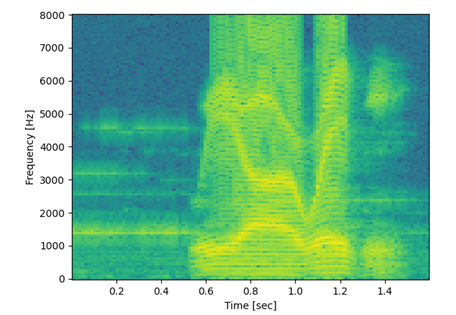
*Сигналды Талдау:* Сөйлеу-бұл әр түрлі жиілік пен амплитудамен сипатталатын күрделі сигнал. Mfcc бұл сигналдарды уақыт өте келе дыбыс толқындарының өзгеру жылдамдығы мен сипаттамаларын көрсететін қарапайым компоненттерге бөлуге көмектеседі.

*Жиілікті Түрлендіру:* Адамдар жиіліктерді сызықтық шкала бойынша қабылдамайды. Сондықтан MҒСС адамның есту жүйесінің реакциясына жақын келетін mel шкаласын пайдаланады, ол жоғары жиіліктерге қарағанда төменгі жиіліктердің өзгеруіне сезімтал.

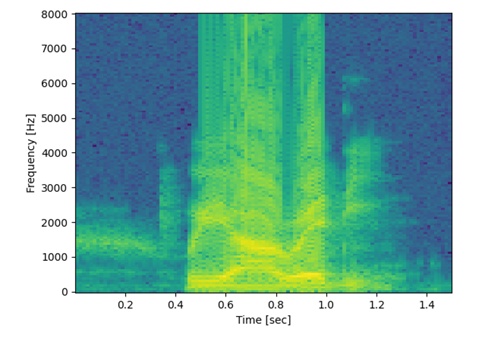
Кепстральды көрініс: mel шкаласына ауысқаннан кейін сигнал қайтадан кепструм деп аталатын уақыт доменінің көрінісіне айналады. Кепструм сигналдың периодты вариациясын (қадамын) баяу вариациядан (тембрден) ажыратады, соңғысына назар аударады, ол сөйлеуді тануға қатысты ақпараттың көп бөлігін алып жүреді.

Спектрограммалардың жиілігі шағын өткізу қабілеттілігі және уақыт бойынша үлкен өткізу қабілеттілігі бар.

Сондықтан олар жоғары жиілікті ажыратымдылықты қажет етеді және сөйлеудің әртүрлі гармоникасын анық көрсете алады. Мысалы, 1-суретте көрсетілген "біз дайынбыз" сөйлеу тіркесінің спектрограммасында дауыс жиілігі мен гармоникасын анық көруге болады. 1-суретте көлденең бағыттағы төмен жолақтардың жиілік диапазоны қадам жиілігін білдіреді. Осы көлденең жолақтардың ішінде олардың кейбіреулері бір уақытта басқа көлденең жолақтарға қарағанда күңгірт түсті болады. Бұл қараңғы көлденең жолақтар сөйлеуінің резонанстық шыңын білдіреді. Атап айтқанда, жергілікті жерлерде бірнеше қараңғы көлденең жолақтар пайда болуы мүмкін, олар бірнеше резонанстық көлемді құрайды. 2-суретте бір адам қалыпты атмосферада жазған "біз дайынбыз" тіркесінің қалыпты сөйлеуінің спектрограммасы көрсетілген.



**1-сурет. "Біз дайынбыз" сөйлеуінің спектрограммасы**



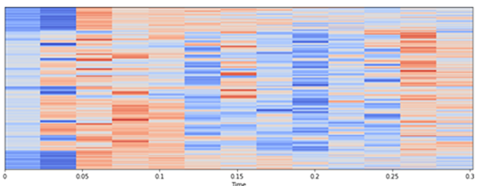
**2-сурет. "Біз дайынбыз"қалыпты сөйлеу спектрограммасы**

**Нәтижелер мен талқылау.**  (Mel Filter Bank) Mel сүзгі банкі кіріс қуатының спектрін Mel сүзгі банкі арқылы сүзеді. Шығыс деректері-әдетте Mel spectrum деп аталатын сүзілген мәндер жиыны, олардың әрқайсысы жеке сүзгі арқылы кіріс спектрін сүзу нәтижесіне сәйкес келеді. Бұған төмендегі формула арқылы қол жеткізуге болады:

мұндағы k-сүзгілер саны. Жалпы модель үшін Mel мен сызықтық шкаладағы жиіліктер арасындағы қатынас келесідей: mel(f) = 2595\*log10 (1+ f/700).3

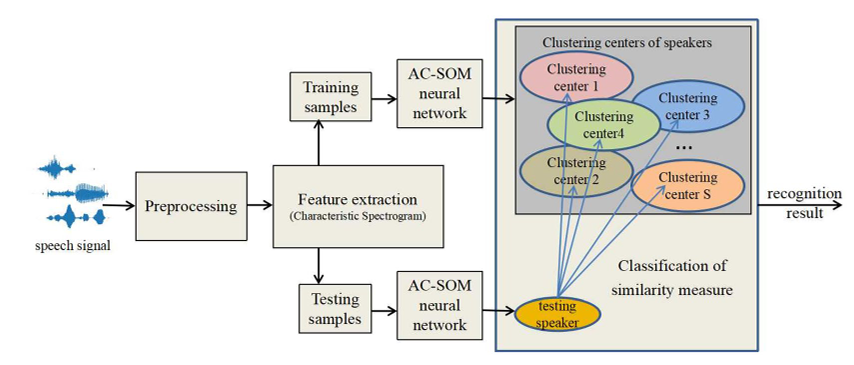
Mel сүзгі банкі шығаратын мәндер диапазоны әр мәнді оның табиғи логарифміне ауыстыру арқылы төмендейді: k

Алдымен спектрді шағын масштабты форматта көрсету үшін сүзгілердің тіркесімін есептеу керек. Mel сүзгісі-бұл жиілік диапазонындағы энергияны қосатын және mel коэффициенттерін есептейтін үшбұрышты терезе. Коэффициенттердің санын білетіндіктен, біз он сүзгі жиынтығын жасай аламыз (сурет. 3).



**3-сурет. Кепстральды төмен жиілікті коэффициенттер**

Зерттеу жұмысына қажетті деректер «Ақпараттық және есептеуіш технологиялар» институтының ғылыми базасынан алынып, тәжірибелік жұмыстарда пайдаланылды [7]. Тәжірибелер үшін біз 100 спикердің (50 ер және 50 әйел) жазбаларын қамтитын Қазақ тіліндегі мәліметтер базасын жасадық. Әрбір жазбаның ұзындығы шамамен 7 минутты құрады және зертханада 16 кгц іріктеу жиілігінде ДК аудио жазу бағдарламалық құралын пайдаланып жасалған және WAV пішімінде сақталған. Әр сөйлеуші газет, журналдардан және т.б. басқа мәтіндер алды және қалыпты қарқынмен сөйледі. Осы сөйлеу үлгілерін пайдалана отырып, біз сөйлеушілерге тән спектрограммалардың дерекқорын жасадық. Әрбір сөйлеуші жазбасы ұсталып, 4000 қысқа мерзімді спектрограммаға бөлінді. Содан кейін, 5, 40 қысқа мерзімді спектрограммалардың әр тобынан бір суперпозициялық спектрограммалар жасалды, нәтижесінде бір сөйлеушіге 100 осындай спектрограмм берілді. Кескінді өңдеу кезінде сызықтық суперимпо қимасы бірнеше кескіннің сәйкес пикселдерінде орташа өлшенген операцияны орындауды білдіреді. Бұл тәжірибелерде топ ретінде "1" салмағымен орташа өлшенген операцияны орындау үшін 40 қысқа мерзімді спектрограмма пайдаланылады, оны біз бір суперпозиция деп атаймыз. Осыдан кейін дәл осындай орташа өлшенген операция 10-шы бір суперпозициялық спектрограммалар тобында қайтадан орындалады, оларды біз төрттік-суперпозиция деп атаймыз. Үлгілердің санын азайту және айтылымның тұрақты ерекшеліктерін алу үшін квадраттық сызықтық суперпозицияны қолдана отырып, 10-ын бір суперпозициялық спектрограммадан тұратын топтар біріктіріліп, соңында бір динамикке 10 сипаттамалық спектрограмма алынды. Осылайша, біз 100 динамиктен тұратын дерекқорымыздан 1000 сипаттамалық спектрограмма үлгілерін жасадық. 4-суретте динамикті тану жүйесіне шолу берілген. Бұл экспериментте біз әр сөйлеушінің деректерінің 80% - оқыту үшін, ал қалған 20% - тестілеу үшін пайдаландық, ал сынақ жиынтығындағы үлгілердің ешқайсысы оқыту үшін пайдаланылмады. Сubic convolution әдісіне сүйене отырып, шығыс өлшемі 420х560 болатын сипаттамалық спектрограммалар 42х56 өлшемді суреттерді іріктеу үшін іріктеліп алынды, содан кейін үлгі суреттері оқуға а AC-SOM арналған нейрондық желісіне дәйекті түрде енгізілді. Кіріс қабатының өлшемі n = 42×56 = 2352 болды. S сөйлеуші бойынша тренингтен кейін біз s кластерлік орталықтарын алдық. Содан кейін біз әрбір үлгі мен барлық кластерлік орталықтар арасындағы Евклидтік қашықтық тангенсінің ұқсастығын есептей отырып, сынақ үлгілерін жіктедік, әрбір үлгі үшін тану нәтижесін ең жоғары ұқсастығы бар кластерлік орталық ретінде анықтадық.

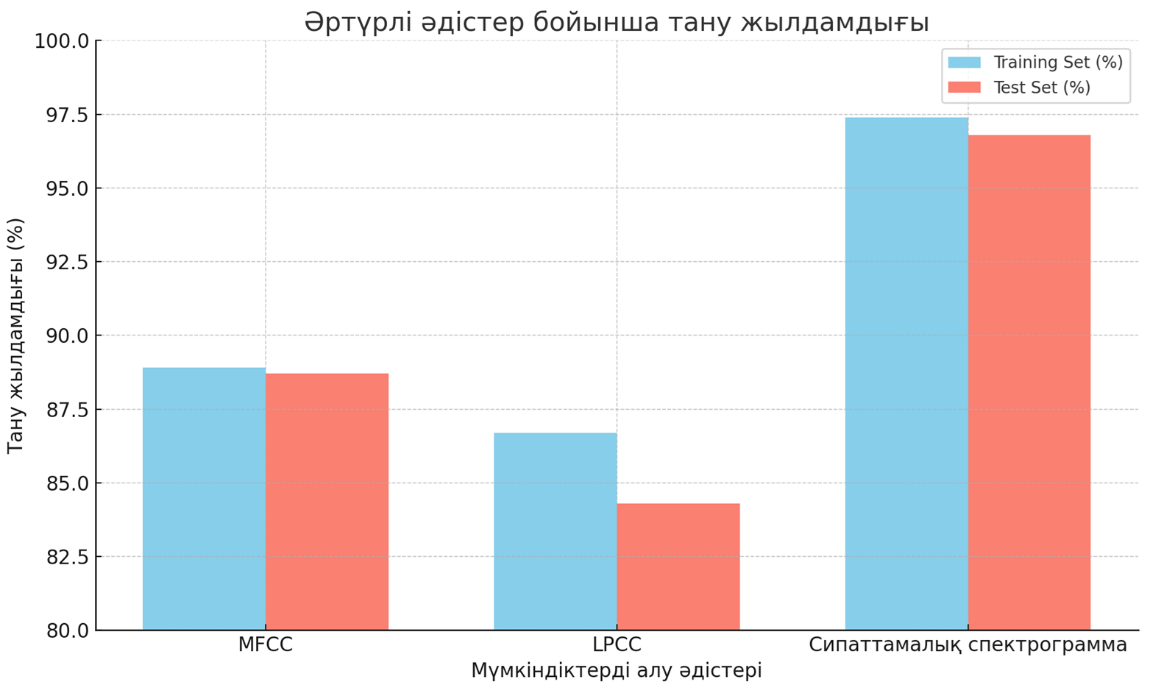


**4-сурет. Эксперименттік динамикті сәйкестендіру жүйесіне шолу**

5-ші суретте көрсетілгендей 1-кестеде бірдей тану әдісі бойынша IPCC динамигінің мүмкіндіктерін шығару әдісі ең төменгі тану жылдамдығына ие. MFCC мүмкіндіктерін шығару әдісін тану жылдамдығы IPCC-ге қарағанда жоғары. Бірақ екі тану көрсеткіші де 90% - дан аз. Ұсынылған спектрограммаға негізделген мүмкіндіктерді шығару әдісі бірдей динамиктер саны үшін жиі қолданылатын MFCC және LPCC әдістеріне қарағанда жақсырақ жұмыс істейді және динамиктердің айтылу мүмкіндіктерін тиімді түрде шығара алады.

**1-кесте. Үш айырмашылық үшін динамикті тану өнімділігін салыстыру ерекшеліктерді шығару әдістері**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| Сөйлеушілер | Feature Extraction Methods Мүмкіндіктерді алу әдістері | Recognition Rate  Тану жылдамдығы  (Training Set) (%) | Recognition Rate  Тану жылдамдығы  (Test Set) (%) |
| 20 | MFCC | 88.9 | 88.7 |
| 20 | LPCC | 86.7 | 84.3 |
| 20 | Сипаттамалық спектрограмма | 97.4 | 96.8 |
| 40 | MFCC | 87.5 | 85.2 |
| 40 | LPCC | 81.8 | 79.3 |
| 40 | Сипаттамалық спектрограмма | 93.3 | 91.1 |



**5-сурет. Әртүрлі әдістер бойынша тану жылдамдығы**

Бұл бөлімде ұсынылған әдіс жоғарыда сипатталған мәліметтер базасын қолдана отырып, сөйлеушіні танудың әр түрлі эксперименттерін құра отырып, сәйкестіктерімен бағаланады. Өнімділік динамиктерді танудың басқа әдістерімен салыстырылады, яғни терең сенім желісі (DBN) [8], конволюциялық нейрондық желі (CNN) [9]. Сонымен қатар, біздің көзқарасымыз басқа мүмкіндіктерді алу әдістерімен, атап айтқанда MFCC [10] және LPCC-мен салыстырылады. Оқу жылдамдығын салыстыру үшін барлық әдістер GPU қолданады. Барлық эксперименттерде біз тану жылдамдығын сыналған үлгілердің жалпы санынан негізгі rect сәйкестіктерінің саны ретінде келесідей есептедік:

Осы формуланың көмегімен сынақ және жаттығу жиынтығының тану көрсеткіштері сәйкесінше барлық сынақ және жаттығу жиынтығының үлгілерін сынау арқылы алынды. Жаттығу уақыты динамикті тану жүйесіне қажетті уақыт (секундпен) ретінде анықталады команда оқу процесін аяқтауы керек, ал тестілеудің жалпы уақыты-бұл барлық сынақ жиынтықтарының үлгілерін жіктеуге кететін уақыт, ал бір сынақ уақыты-бір сынақ үлгісін жіктеуге кететін орташа уақыт.

Сөйлеушінің санының оқытудың орташа деңгейіне және тестілік жиынтықты тану көрсеткіштеріне әсерін зерттеу үшін біз жүйені келесі әдістермен тексердік 20, 40, 60, 80, 90 және сол эксперименттік жағдайда 100 сөйлеуші болды. Біз әр экспериментті үш рет өткіздік және орташа нәтижелер 2-кестеде келтірілген.

**2-кесте. Сөйлеушінің санының тану жылдамдығына, жаттығу жылдамдығына және тану жылдамдығына әсері**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| Сөйлеуші саны | Тану жылдамдығы  (training set (%) | Тану жылдамдығы  (test set) (%) | Оқыту уақыты (s) | Total test  time (s) | Бірыңғай тест  Single test  time (ms) |
| 20 | 99,3 | 99,9 | 11,9 | 0,3 | 4,2 |
| 40 | 97,4 | 95,6 | 18,6 | 0,6 | 8,2 |
| 60 | 91,6 | 90,0 | 69,9 | 1,3 | 13,1 |
| 80 | 90,2 | 86,8 | 138,8 | 2,6 | 17,1 |
| 90 | 84,7 | 82,7 | 200,5 | 4,5 | 23,8 |
| 100 | 84,7 | 81,5 | 303,6 | 5,7 | 26,9 |

Соңында, біз өз көзқарасымызды 20, 60 және 100 динамиктерді тану жылдамдығы мен жылдамдығы бойынша сөйлеушіні танудың басқа төрт әдісімен салыстырдық. CNN екі конволюциялық тиональды қабаттан, екі біріктіру қабатынан, екі толық қосылған қабаттан және бір softmax қабатынан тұрды, ал MLP құрылымы 2351×1000 ×500×250×100 сөйлеушіні cаны. Эксперименттің үш кезеңінде танудың орташа жылдамдығы 6-суретте көрсетілген.

**6-сурет. Төрт түрлі тану әдісі үшін тану жылдамдығы**

6-ші суреттен көрініп тұрғандай бірдей эксперименттік жағдайларда CNN тану жылдамдығы ең жоғары болып табылады, бірақ ол жаттығу жылдамдығы мен тану жылдамдығын әсер етеді. Осы зерттеуде ұсынылған AC-SOM нейрондық желі әдісін тану жылдамдығы CNN әдісіне қарағанда сәл ғана төмен, бірақ ұсынылған желіні оқыту жылдамдығы мен тану жылдамдығы басқа әдістерге қарағанда айтарлықтай жылдамырақ, бұл анық, басқа әдістерден жоғары және нақты уақыттағы қолданбалардың қажеттіліктерін қанағаттандыра алады.

**Қортынды.** Деректерді оқытудың баяу жылдамдығы, тану тиімділігінің төмендігі және ресурстармен шектелген құрылғыларда қолданудың нашар өнімділігі мәселелерін шешу үшін бұл мақалада әрбір динамик үшін тұрақты айтылу мүмкіндіктерін алу үшін қысқа мерзімді спектрограмма статистикасын пайдаланатын әдіс ұсынылады, содан кейін AC-SOM нейрондық желісіне негізделген адаптивті кластерлеу әдісі бар динамиктерін алдық. Қазақ тіліндегі мәліметтер базасы құрылды, онда 100 сөйлеушінің жазбалары бар. Динамиктерге тән спектрограммаларды алу үшін ерекшеліктерді шығарудың тиімді әдісі ұсынылды. Содан кейін ұсынылған AC-SOM моделінің тану тиімділігі мен жылдамдығын тексеру үшін сипаттамалық спектрограммалар қолданылды. Эксперимент нәтижелері көрсеткендей, сөйлеушіге тән спектрограмма оның айтылу бөлшектерін ғана емес, сонымен қатар тұрақты айтылу сипаттамаларын да көрсете алады, осылайша сөйлеушінің айтылу сипаттамаларын тиімді сипаттай алады. Эксперименттік нәтижелер замануи алгоритмдермен салыстырғанда, ұсынылған AC-SOM алгоритмінің тану жылдамдығына айтарлықтай әсер етпестен оқу және тану жылдамдығын айтарлықтай жақсарта алатынын көрсетеді. Осылайша, бұл зерттеу ресурстары шектеулі құрылғыларда динамиктерді танудың озық интеллектуалды жүйелерін енгізудің өте перспективалы нұсқасын ұсынады.

**Әдебиеттер**

1. Saritha B., Laskar R.H.,  Choudhury M., Anish Monsley K. Optimizing Speaker Identification through SincsquareNet and SincNet Fusion with Attention Mechanism // [Procedia Computer Science](https://www.sciencedirect.com/journal/procedia-computer-science). - 2024. -Vol. 233. -P. 215-225. DOI [10.1016/j.procs.2024.03.21](https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.03.211)1.
2. El Shafai W., et al. Optical ciphering scheme for cancellable speaker identification system // Computer Systems Science and Engineering. -2023. -Vol. 45(1). -P.563-578. DOI [10.32604/csse.2023.024375](https://doi.org/10.32604/csse.2023.024375).
3. Daqrouq K., Tutunji T.A. Speaker identifcation using vowels features through a combined method of formants, wavelets, and neural network classifers // Elsevier Science Publishers B. V. - 2023. -Vol. 27. -P. 231-239. DOI 10.1016/J.ASOC.2014.11.016.
4. Ajmera P.K., Jadhav D.V., Holambe RS. Text-independent speaker identification using radon and discrete cosine transforms based features from speech spectrogram // Pattern Recognition. -2011. - Vol.44(10-11). -P.2749-2759. DOI [10.1016/j.patcog.2011.04.009](https://doi.org/10.1016/j.patcog.2011.04.009).
5. O'Shaughnessy D. Speech Communications: Human and Machine. – 2nd ed. / IEEE Press. -2008. -600 p. ISBN 978-0-780-33449-6.
6. Cheng F., et al. Visual speaker authentication with random prompt texts by a dual-task CNN framework // Pattern Recognition. -2018. -Vol.83. -P.340-352. DOI [10.1016/j.patcog.2018.06.005](https://doi.org/10.1016/j.patcog.2018.06.005).
7. Hinton G., Deng L., Yu D., Dahl G.E., et al. Deep neu ral networks for acoustic modeling in speech recognition: the shared views of four research groups // IEEE Signal Process Magazine. - 2012. -Vol. 29(6). -P. 82-97. DOI [10.1109/MSP.2012.2205597](https://doi.org/10.1109/MSP.2012.2205597).
8. [Mamyrbayev O.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400), [Toleu A.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57200275502), [Tolegen G.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57200276217), [Mekebayev N.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57202316868), Neural architectures for gender detection and speaker identification // Cogent Engineering.- 2020. -Vol.7(1): 1727168. [DOI 10.1080/23311916.2020.1727168](https://doi.org/10.1080/23311916.2020.1727168).
9. [Kalimoldayev M.N.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=56153126500), [Mamyrbayev O.Zh.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=55967630400), [Kydyrbekova A.S.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57208346238), [Mekebayev N.O.](https://www.scopus.com/authid/detail.uri?authorId=57202316868) Voice verification and identification using i-vector representation // International Journal of Mathematics and Physics.- 2019. - Vol.10(1). -P. 66-74. DOI [10.26577/ijmph-2019-i1-9](https://doi.org/10.26577/ijmph-2019-i1-9).
10. Mamyrbayev O., Turdalyuly M., Mekebayev N., Alimhan K., Kydyrbekova A., Turdalykyzy T. Automatic recognition of Kazakh speech using deep neural networks //[Lecture Notes in Computer Science](https://www.researchgate.net/journal/Lecture-Notes-in-Computer-Science-0302-9743?_tp=eyJjb250ZXh0Ijp7ImZpcnN0UGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIiwicGFnZSI6InB1YmxpY2F0aW9uIn19). -2019. -Vol.11432. -P. 465-474. DOI [10.1007/978-3-030-14802-7\_40](https://doi.org/10.1007/978-3-030-14802-7_40).

***Авторлар туралы мәліметтер***

Мекебаев Н.О. - PhD, қауымдастрылған профессор, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail:nurbapa@gmail.com;

Даркенбаев Д.К. - PhD, доцент м.а., әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: [dauren.kadyrovich@gmail.com](mailto:dauren.kadyrovich@gmail.com);

Орынтаева Ж.А. - магистр, аға оқытушы, Қазақ ұлттық қыздар педагогикалық университеті, Алматы, Қазақстан, e-mail: [zannaoryntaeva0@gmail.com](mailto:zannaoryntaeva0@gmail.com);

Модовов Н.А. - докторант, әл-Фараби атындағы Қазақ ұлттық университеті, Алматы, Қазақстан e-mail: [modovov@gmail.com](mailto:modovov@gmail.com).

***Information about the authors***

Mekebayev N.- PhD, Associate Professor, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: nurbapa@gmail.com;

Darkenbayev D.- PhD, Acting Associate Professor, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [dauren.kadyrovich@gmail.com](mailto:dauren.kadyrovich@gmail.com);

Oryntaeva Zh.- master, Kazakh National Women's Teacher Training University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [zannaoryntaeva0@gmail.com](mailto:zannaoryntaeva0@gmail.com);

Modovov N.- master, doctoral student, Al-Farabi Kazakh National University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [modovov@mail.ru](mailto:modovov@mail.ru).

IRSTI 20.23.17; 20.53.21

**AUTOMATION OF THE PROCESSES BASED ON MACHINE LEARNING FOR TELEMEDICINE INFORMATION SYSTEM**

**1,2A.S. Seitenov**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0001-5777-4363)**🖂, 1T.K. Zhukabayeva**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0001-6345-5211)

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

*2Astana IT University, Astana, Kazakhstan*

**🖂**Corresponding author:altynbekss@gmail.com

The integration of Machine Learning into Telemedicine Information Systems has revolutionised remote healthcare delivery, optimising patient monitoring, diagnosis, and treatment processes. However, challenges persist in automating these systems, particularly in areas of data interoperability, security, and scalability. The research explores the role of ML-driven automation in overcoming described challenges, analysing current trends, obstacles, and research gaps. The study notices technologies  predictive analytics and image recognition are advancing telemedicine capabilities, while issues like fragmented data, lack of standard protocols, and privacy concerns remain. It emphasises the need for robust frameworks that integrate ML techniques to enhance the reliability and efficiency of TIS, especially in resource-constrained settings. By combining the latest findings, the work demonstrates the importance of adopting complex automation strategies enhanced via ML tools for developing future innovation in the telemedicine field.

**Keywords**: telemedicine,medical information system, machine learning, healthcare information system, remote patient monitoring.

**АВТОМАТИЗАЦИЯ ПРОЦЕССОВ НА ОСНОВЕ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ТЕЛЕМЕДИЦИНСКОЙ ИНФОРМАЦИОННОЙ СИСТЕМЫ**

**1, 2А.С. Сейтенов🖂, 1Т.К. Жукабаева**

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

*2Astana IT University, Астана, Казахстан,*

e-mail:[altynbekss@gmail.com](mailto:altynbekss@gmail.com)

Интеграция методов машинного обучения в информационные системы телемедицины произвела революцию в области дистанционного оказания медицинской помощи, оптимизируя процессы мониторинга пациентов, диагностики и лечения. Тем не менее, автоматизация таких систем по-прежнему сталкивается с рядом проблем, особенно в сферах совместимости данных, безопасности и масштабируемости. В исследовании рассматривается роль автоматизации, основанной на машинном обучении, в преодолении указанных вызовов, проводится анализ современных тенденций, препятствий и существующих исследовательских пробелов. Отмечается, что технологии прогнозной аналитики и распознавания изображений значительно продвигают возможности телемедицины, однако сохраняются такие проблемы, как фрагментированность данных, отсутствие единых стандартов и вопросы конфиденциальности. Особое внимание уделяется необходимости создания надежных архитектур, интегрирующих методы машинного обучения для повышения надежности и эффективности информационных систем телемедицины, особенно в условиях ограниченных ресурсов.На основе анализа последних достижений работа подчеркивает важность внедрения комплексных стратегий автоматизации, усиленных инструментами машинного обучения, для стимулирования инноваций в области телемедицины.

**Ключевые слова:** телемедицина, медицинская информационная система, машинное обучение, система медицинской информации, дистанционный мониторинг пациентов

**ТЕЛЕМЕДИЦИНАЛЫҚ АҚПАРАТТЫҚ ЖҮЙЕ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУҒА НЕГІЗДЕЛГЕН ҮДЕРІСТЕРДІ АВТОМАТТАНДЫРУ**

**1, 2А.С. Сейтенов🖂, 1Т.К. Жукабаева**

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

*2 Astana IT University, Астана, Қазақстан,*

e-mail:[altynbekss@gmail.com](mailto:altynbekss@gmail.com)

Машиналық оқыту әдістерінің телемедицина ақпараттық жүйелеріне интеграциялануы қашықтықтан медициналық көмек көрсетуді түбегейлі өзгертті, бұл пациенттерді бақылау, диагноз қою және емдеу үдерістерін оңтайландырды. Дегенмен, мұндай жүйелерді автоматтандыруда деректердің үйлесімділігі, қауіпсіздік және ауқымдылық секілді салаларда әлі де бірқатар қиындықтар бар. Зерттеу машиналық оқытуға негізделген автоматтандырудың осы қиындықтарды шешудегі рөлін қарастырып, қазіргі үрдістерді, тосқауылдарды және зерттеу алшақтықтарын талдайды. Болжамдық талдау мен кескіндерді тану технологиялары телемедицинаның мүмкіндіктерін кеңейтуде, бірақ деректердің шашыраңқылығы, бірыңғай стандарттардың болмауы және дербес деректердің құпиялылығы сияқты мәселелер өзекті болып отыр. Зерттеуде әсіресе ресурс шектеулі жағдайларда телемедицина ақпараттық жүйелерінің сенімділігі мен тиімділігін арттыру үшін машиналық оқыту әдістерін біріктіретін мықты архитектуралардың қажеттілігі атап өтіледі. Соңғы жетістіктерді талдай отырып, бұл жұмыс телемедицина саласындағы болашақ инновацияларды дамыту үшін машиналық оқыту құралдарымен күшейтілген кешенді автоматтандыру стратегияларын енгізудің маңыздылығын көрсетеді.

**Түйін сөздер**: телемедицина, медициналық ақпараттық жүйе, машиналық оқыту, денсаулық сақтау ақпараттық жүйесі, болжамдық аналитика, қашықтан пациентті бақылау.

**Introduction.** Over the last decades, telemedicine information systems (TIS) have noticeably transformed the healthcare field via the deployment of remote doctors’ consultation, medical diagnosis, and patient management services [1]. Integration of machine learning (ML) technologies presents further opportunities to enforce  TIS systems through predictive analytics, natural language processing (NLP), and patient image recognition. These features can enhance the telemedicine usage performance efficiency and adaptability to user needs [2,3]. However, critical barriers remain in automating core processes of TIS, especially in ensuring seamless interoperability, robust data security, and adaptability across different healthcare settings [4,5]. These challenges become a crucial issue due to the heterogeneous nature of healthcare data and the absence of standardised data exchange protocols [6].

The research work shows a review of ML technologies' role in automation TIS system processes. It consists of an empirical investigation based on healthcare professionals' thoughts, analysed via mixed-method approaches. The work adopts a broader perspective, synthesising insights from diverse studies to identify trends and challenges in the telemedicine domain. This study focuses on how machine learning-based automation can be applied to address the primary challenges of the telemedicine platform, with particular attention to developing secure, scalable, and user-centred design strategies. Understanding of these aspects is essential for effectively integrating ML features into TIS systems and for informing future developments in the ehealth field. Moreover, the integration of ML technologies with other innovations, namely blockchain network, offers promising avenues for improving data integrity and patient privacy in telemedicine applications [7-9]. While prior works have examined individual ML and blockchain applications, the research proposes an architecture that is able to combine the noted technologies in a modular framework for low-resource settings.

Additionally, the study proposes an enhanced system architecture by ML tools, blockchain technology, and secure interoperability standards. The results highlight major concerns, namely, data fragmentation, lack of standardisation, and security risks, which the proposed model aims to mitigate. The outcome of the article informs possible future design, implementation, and policy development for telemedicine systems. What differentiates this study from prior literature is the integration of technical and user-centred perspectives through a mixed-methods study, which supports the design of a new modular system architecture. Rather than solely reviewing trends, this work formulates a forward-looking implementation framework rooted in both literature and stakeholder insights.

**Materials and methods.** In this section, a set of articles relevant to the research topic was systematically reviewed and analysed. The primary sources for the literature search included academic databases, namely, Google Scholar, Scopus, and ScienceDirect. The inclusion criteria required that the publication has to reference specific keywords such as telemedicine, medical information system, healthcare remote technologies, medical information systems, and related digital health infrastructures. Studies that did not directly engage with these themes were excluded. Applying the inclusion criteria, the research review aims to offer a comprehensive overview of the current state of research, emphasising major advancements, emerging trends, and persistent challenges in the field. This approach ensures a conceptual foundation for understanding the broader implications of TIS in the scope of the modern healthcare service.

Analysis of publications related to the TIS system shows diverse significant outcomes depending on the context of implementation. Firstly, the adoption of TIS platforms has been associated with improvements in clinical decision-making, reducing medical errors and optimising treatment plans [10,11]. As an illustraion, the integration of Electronic Health Records (EHR) illustrated error reduction in the medical process [12,13]. Additionally, the implementation of Clinical Decision Support Systems (CDSS) within TIS frameworks helps medical staff by offering evidence-based treatment recommendations and computer diagnostic accuracy [14].

Contrastingly, other works present that the effectiveness of using TIS systems often faces foundational challenges. There are low levels of infrastructure, limited internet connectivity, unqualified training for healthcare workers, and financial constraints. These factors reflect the scalability and sustainability of telemedicine integration [15]. Moreover, a systematic review emphasised the absence of clear guidelines and investment can increase the possibilities of successful TIS integration [16].​

Also, existing studies provide valuable advantages of integration of TIS  systems in the medical field, they often overlook non-clinical applications, including public health monitoring and policy development. Additionally, there is research addressing the socio-economic factors influencing TIS adoption in resource-limited settings. It underlines the necessity of deep studies in the telemedicine area [17].

CDSS has demonstrated the potential to enhance patient outcomes by reducing medical errors, particularly those related to drug interactions and diagnostic inaccuracies [18,19]. Institutions have successfully implemented CDSS to bolster patient safety measures [20]. This indicates that while CDSS offers potential benefits, its success is contingent on clinician engagement and the system's alignment with the workflow.

Various methods and technologies have been deployed in TIS for the improvement of business processes. The innovative approaches in telemedicine systems, mobile health (mHealth), and medical information platforms have successfully improved many healthcare settings [21]. These systems have helped in healthcare operations, reduced operational costs, and increased the efficiency of medical service delivery.

Recent advances and integration of blockchain technology in telemedicine have able to get higher security standards and improved data-sharing capabilities. Other methods, namely, machine learning algorithms could be used for predictive analytics in healthcare, assisting in decision-making and early disease diagnosis​ [4,5,8].

CDSS can be categorised into knowledge-based and non-knowledge-based systems. Knowledge-based systems rely on rules and guidelines derived from medical literature, while non-knowledge-based systems use machine learning and statistical pattern recognition​. Most of today’s CDSS are knowledge-based, utilising if-then rules to trigger alerts for issues such as duplicate test orders or drug interactions. However, advancements in artificial intelligence have led to more sophisticated CDSS, which can learn from past data and provide supportive clinical support​ [1]. While the integration of these IT solutions gives a chance of successful usage, the whole concerns about transparency and trust have limited their adoption [20-22].

1. *Identifying* Research Gaps

Several issues remain in current TIS research. The one of the significant areas is the under-researching of TIS adaptability in low-resource settings. Although TIS has been established sufficiently in healthcare systems, there is still incomplete research on how telemedicine system can be fully optimized in developing territories [21]. While studies have highlighted the importance of management skills within TIS, there is limited research on the integration of artificial intelligence tools in the telemedicine ecosystem for real-time knowledge processing.

Despite the proven benefits of CDSS, research presents application limitations in some critical areas. One of them is the lack of large-scale, systematic studies examining CDSS effectiveness in real-world settings outside of controlled environments excluding academic medical centres. Additionally, while much attention has been given to CDSS for healthcare management, less research has focused on their use in diagnostic decision-making, particularly in general practice [19,22].

The current research is able to address these gaps by focusing on how TIS can be better tailored for resource-constrained environments and identifying the best practices for integrating cutting-edge technologies with existing systems or by focusing on the real-world implementation of CDSS in diverse healthcare environments, examining factors such as user interaction and integration with existing workflows.

The connection diagram illustrates how a set of research papers addresses the core issues of interoperability and data security within the TIS framework. It shows how studies join/differ from one another in their approaches to solving the challenges [23-25].

* Concentration on challenges related to interoperability and heterogeneous data formats.
* Exploration of the influence on healthcare expenses and patient care.
* Discussion of the benefit of AI and blockchain for providing security aspects.

The figure (Figure 1) presents pointers between the reports to spotlight the advancement of ideas over the term. It shows where the last studies build on older findings.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, Прямоугольник

Автоматически созданное описание

**Fig. 1 - Graphical representation of source**

The above diagram presents how interoperability barriers have evolved from early discussions of data formats and communication protocols [25]. They lead to modern solutions involving AI and blockchain [21]. Each study concerns previous findings, gradually introducing more advanced technological keys to solve essence difficulties in Medical Information Systems

Table 1 is a comparative table with specific columns. The content of the table consists of methods, advantages, and limitations of different studies on TIS. It helps summarise how different authors approached common challenges and what results they reported.

**Table 1 - Description for TIS approaches**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Study** | **Year** | **Method Used** | **Advantages** |
| Häyrinen et al.[24] | 2008 | Data format standardisation | Data format standardisation |
| DesRoches et al.[23] | 2008 | TIS implementation | Reduced patient wait times |
| Epizitone et al.[21] | 2023 | AI and blockchain integration | Enhanced security, automated decision-making |
| Liu et al. [5] | 2020 | Blockchain for security | Strong encryption and distributed access control |
| Ahmad et al. [7] | 2021 | Blockchain in telehealth | Tamper-proof logging and improved patient privacy |

Graph represents a progression of research publications on TIS syste, implementation and AI in Healthcare from 2000 to 2020 (Figure 2). The blue line represents the increasing number of publications focused on TIS implementation. The green line represents the rise in publications related to AI tools in Healthcare.

Изображение выглядит как текст, линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

**Fig. 2 - Progression of research publications on TIS implementation**

The review set highlights that EHR-s are not only repositories of structured clinical and administrative information but also function as tools for decision support, communication, and quality improvement. The authors emphasise that while EHR implementation has the potential to enhance healthcare efficiency and patient safety, success depends heavily on standardization, user training, and system integrations.

Figure presents (Figure 3) a bar chart displaying the primary challenges associated with the realisation of TIS technologies. It was identified across multiple studies. The most frequently reported issues are the following:

- interoperability. A notable amount of healthcare institutions emphasise difficulties in blending heterogeneous systems and data formats;

- data security. It emerges as another vital consideration with more than half of the surveyed institutions expressing suspicions about safeguarding patient information;

- high implementation costs. It poses a considerable barrier, particularly in low-resource settings, where budget regulations limit the scalability of digital health solutions.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Прямоугольник, Красочность

Автоматически созданное описание

**Fig. 3 - Key challenges in TIS implementation**

The visual representation actually underlines these key challenges, strengthening prevalence and impacting the existing literature.The charts and visual materials in this paper are based on reliable sources and real-world studies related to EHR and TIS technologies. These visuals help explain the main challenges and trends in telemedicine in a clear and accessible way.

* Interoperability: The data demonstrates a different researcher attempts for solving the intercommunication and data exchange among different programes. There are even a some progress has been made. A number healthcare systems still struggle to share data smoothly. The evidence from studies merges and diverges in work approaches to embarking on the complex problem.
* Data Security: Information breakings and the use of blockchain make it clear why protecting patient information is so important. As more additional, healthcare systems go digital, consequently, it is necessary to develop more reliable and secure tools. These visuals highlight how new technologies are helping to keep patient data safe.
* System Adoption: The review presents how TIS and CDSS are used to reveal success relies on the local context. Factors, namely, staff training, technical readiness, and budget all play a role. These insights show why it's important to adapt systems to each specific environment.

**Results and discussion.** The study uses mixed (qualitative and quantitative) research methods. The methods demonstrate a description of the usage of TIS applications and challenges in TIS implementation. Approaches are made to examine both clear and measurable patterns. Additionally, it is modest and experience-based insights. The work's main focus area includes a user's satisfaction with TIS deploying. Particularly, it touches on assessments, namely, data protection, system integrity in daily routines, and efficiency of usage. Participants are chosen randomly from healthcare institutions. The medical centres have already used medical information systems with any telemedicine functionalities. The work is aimed to gather feedback from a variety of medical professionals from different departments, and levels of experience. It helps to capture a full picture of the analysis and avoid biased insights. The result has different viewpoints included in the analysis.

The analysis focuses on three main aspects of research:

* User Satisfaction. Measurement of using a scale (from 1 to 5), and through yes/no responses.
* Data Security. Evaluation of users' safety feelings about patient's data is.
* Workflow Integration. Assessment of the usability of TIS system fitted into daily work processes.

Responses are gathered via an online survey using Google Forms. The survey was accomplished remotely and participants were able to fill it when it was most convenient for them. It was made to diminish of interrupting participant's work. The questions covered key areas, namely, a system usability, security consideration, and TIS integration in their institutions.

Each questionnaire question was carefully developed to match the objectives of the study. It used rankings scores and open-ended questions to collect a broad range of data. Some questions are requested by parties to rate TIS usage via their satisfaction. Others are asked their thoughts about data security.

This metric captures the perceived efficiency and usability of the TIS platforms and was analyzed alongside data security and workflow integration variables to identify correlations. Limitations of the study, such as potential biases in questionnaire analysis, were noted and reduced its risks. The assessment steps were taken to mitigate through anonymising responses and conducting the survey remotely.

The research work meets ethical requirements. It was obtained by informing all participants as well as their private information was secured. The participants were informed about the purpose of the research, confidentiality, and the anonymity of their responses.

Data sharing is one of the primary keys of the study. It does not occur seamlessly across systems, which the majority of organisations mentioned in the survey. The proposed architecture can be framed in an integration engine and API gateway for standardisation of the communication channels between the internal modules (TIS, CDSS, Analytics) and external systems (laboratory, pharmacy platforms). Elimination of data fragmentation helps ensure continuous patient care by removing repeated activities in the medical workflow process. Users have expressed in a survey about dissatisfaction with fragmented workflows in domestic medical information systems. It means that ensuring the data sharing process in real-time between all parties TIS system might improve the overall efficiency of the system work.

According to the findings, 72% of users determined data breaches and unauthorised access as the most crucial threats in existing systems. To address this, the proposed architecture includes a multi-layered security approach using OAuth 2.0, encryption, anomaly detection, and audit logs to protect sensitive patient data from login to storage.

Additionally, integrating a blockchain ledger will strengthen the system by improving transparency and keeping with MIS standards. The current security measures directly align with the survey findings. The users will feel confident in system security, resulting in higher levels of satisfaction.

The research indicates one of the main obstacles for deploying telemedicine systems is incapacity for scaling, especially in low-resource environments. To overcome the current issue, the proposed infrastructure should contain load balancer components and auto-scaling tools. A such technologies allow the system to automatically adapt to changing workloads while maintaining strong performance.

This is especially important during periods of high demand, especially in health emergency situations. In this case, the system must remain available and responsive. This approach directly addresses a common weakness found in many existing systems, as noted in previous studies.

The survey outcomes reveal current systems are commonly adequate, but many users still face difficulties due to poor levels of usability and unproductive workflows. For eliminatation this case, the proposed model should possess interactive dashboards for different user roles. Particularly, it could be a patient portal, a clinical dashboard and an administrative dashboard. This role-based approach ensures a more personalized and user-friendly experience for each user type. Furthermore, the dashboards is able to allow users do rapid data-driven decisions.

The findings display that poor and fragmented data management remains a major issue. One of the possible ways for improvement is designing a specific data layer. The layer can be proposed for handling different types of medical data in a well-organised and efficient way. For instance:

* database will store structured data such as patient records;
* data Warehouses will gather long-term information for analytics and reporting;
* file Storage will manage unstructured data (e.g. medical images with a variety of resolutions).

Combining all the above aspects into a unified system, healthcare providers will gain quick and reliable access to medical information. This will help reduce delays and support more accurate, personalised, and timely patient care.

**Conclusion.** The findings of this study confirm that Telemedicine Information Systems (TIS) play an important role in improving healthcare processes and outcomes. Nevertheless, key challenges continue to restrict its full potential scaling. Quantitative data revealed that the majority of users identified interoperability issues, while others expressed to anxieties over data security. The results were sustained by qualitative feedback demonstrating that user satisfaction with existing systems remains moderate level. Due to there were usability limitations and security shortcomings.

For overcoming the issue, the study presents an improved system architecture description that highlights data exchange through integration engines and API gateways. They can have a capability for reducing workflow fragmentation. It also introduces robust security mechanisms, including OAuth 2.0, encryption, blockchain integration, and anomaly detection to sustain user trust and ensure data protection principles. Furthermore, the architecture presented mechanisms for scalable applications during periods of high demand.

Through implementation-specific dashboards, administrators, and patients are able to reveal the significant distinguish in usability and align with the diverse their needs. Lastly, the architecture could adopt a structured data management model that unifies databases, data warehouses, and file storage for developing clinical decision-making and long-term analytics.

In contrast to traditional literature reviews, the article contributes new approaches for system architecture that synthesise cutting-edge ML and blockchain technologies with empirical survey findings. This mixed method maintains the practical relevance of the design for ensuring alignment among technical requirements and user satisfaction.

The proposed architecture not only mitigates the well-documented challenges in TIS implementation but also introduces an innovative, integrative model combining ML, blockchain, and modular design—unlike current fragmented solutions. Planned validation and comparative testing will further substantiate its real-world applicability, paving the way for future adoption in scalable digital healthcare deliver services.

**References**

1. Di Cerbo A., Morales-Medina J.C., Palmieri B., Iannitti T. Narrative review of telemedicine consultation in medical practice // Patient Preference and Adherence. -2015. -Vol. 9. -P. 65–75. DOI 10.2147/PPA.S61617.

2. Jiang F., Jiang Y., Zhi H., Dong Y., Li H., Ma S., Wang Y. Artificial intelligence in healthcare: Past, present and future // Stroke and Vascular Neurology. -2017. -Vol. 2(4). -P. 230–243. DOI 10.1136/svn-2017-000101.

3. Albahri O.S., Zaidan A.A., Albahri A.S., Zaidan B.B., Abdulkareem K.H., Al-Qaysi Z.T., Rashid N.A. Systematic review of artificial intelligence techniques in the detection and classification of COVID-19 medical images // Journal of Infection and Public Health. -2020. -Vol. 13(10). -P. 1381-1396. DOI [10.1016/j.jiph.2020.06.028](https://doi.org/10.1016/j.jiph.2020.06.028).

4. Adeghe E.P., Okolo C.A., Ojeyinka O.T. Evaluating the impact of blockchain technology in healthcare data management: A review of security, privacy, and patient outcomes // Open Access Research Journal of Science and Technology. -2024. -Vol. 10(2). -P. 013–020. DOI [10.53022/oarjst.2024.10.2.0044](https://doi.org/10.53022/oarjst.2024.10.2.0044).

5. Liu H., Crespo R.G., Martínez O.S. Enhancing privacy and data security across healthcare applications using blockchain and distributed ledger concepts // Healthcare. -2020. -Vol. 8(3): 243. DOI 10.3390/healthcare8030243.

6. Ferreira J.C., Elvas L.B., Correia R., Mascarenhas M. Enhancing EHR interoperability and security through distributed ledger technology: A review // Healthcare. -2024. -Vol. 12(19): 1967. DOI 10.3390/healthcare12191967.

7. Ahmad R.W., Salah K., Jayaraman R., Yaqoob I., Ellahham S., Omar M. The role of blockchain technology in telehealth and telemedicine // International Journal of Medical Informatics. -2021. -Vol. 148:104399. DOI 10.1016/j.ijmedinf.2021.104399.

8. Shynar Y., Seitenov A., Kenzhegarina A., Kenzhetayev A., Kemel A., Ualiyev N., Sakhipov A., Myrzakerimova A., Mursakimova G., Orynbek A. Comprehensive analysis of blockchain technology in the healthcare sector and its security implications // International Journal of E-Health and Medical Communications. -2025. - Vol. 16(1). – P. 1–45. DOI 10.4018/IJEHMC.372423.

9. Seitenov A., Smagulova G. Distribution of Ethereum blockchain addresses // Scientific Journal of Astana IT University. -2020. -Vol. 4 (4). -P. 41-48. DOI 10.37943/aitu.2020.36.57.005.

10. Steinman M., Morbeck R.A., Pires P.V., Abreu Filho C.A.C., Andrade A.H.V., Terra J.C.C., Kanamura A.H. Impact of telemedicine in hospital culture and its consequences on quality of care and safety // Einstein (São Paulo). -2015. -Vol. 13(4). -P. 580–586. DOI 10.1590/S1679-45082015GS2893.

11. Gajarawala S.N., Pelkowski J.N. Telehealth benefits and barriers // The Journal for Nurse Practitioners. -2021. -Vol. 17(2). -P. 218-221. DOI 10.1016/j.nurpra.2020.09.013.

12. Adeyemi C., Adegoke B.O., Odugbose T. The impact of healthcare information technology on reducing medication errors // International Journal of Frontiers in Medical and Surgical Research. -2024. -Vol. 5(2). -P. 20–29. DOI 10.53294/ijfmsr.2024.5.2.0034.

13. Seitenov A., Zhukabayeva T., Sansyzbay K., Kalpakov Y. Design development of medicine information system for telemedicine field // The Bulletin of KazATC. -2023. -4 (127). - P. 241-251. DOI 10.52167/1609-1817-2023-127-4-241-251.

14. Mars M., Scott R. Telemedicine service use: A new metric // Journal of Medical Internet Research. -2012. -Vol. 14(6): e178. DOI 10.2196/jmir.1938.

15. Dorsey E.R., Topol E.J. State of telehealth // The New England Journal of Medicine. -2016. -Vol. 375(2). -P. 154-161. DOI 10.1056/NEJMra160170.

16. Kruse C.S., Karem P., Shifflett K., Vegi L., Ravi K., Brooks M. Evaluating barriers to adopting telemedicine worldwide: A systematic review // Journal of Telemedicine and Telecare. - 2018. - Vol. 24(1). - P. 4-12. DOI 10.1177/1357633X16674087.

17. Whitten P., Holtz B., Laplante C. Telemedicine What have we learned? // Applied Clinical Informatics. - 2010. – Vol. 1(2). -P. 132–141. DOI 10.4338/ACI-2009-12-R-0020.

18. Sutton R.T., Pincock D., Baumgart D.C., Sadowski D.C., Fedorak R.N., Kroeker K.I. An overview of clinical decision support systems: benefits, risks, and strategies for success // NPJ Digital Medicine. -2020. -Vol. 3:17. DOI 10.1038/s41746-020-0221-y.

19. Kaushal R., Shojania K.G., Bates D.W. Effects of computerized physician order entry and clinical decision support systems on medication safety: A systematic review // Archives of Internal Medicine. -2003. -Vol. 163(12). -P. 1409-1416. DOI 10.1001/archinte.163.12.1409.

20. Osheroff J.A., Teich J., Levick D., Saldana L., Velasco F., Sittig D., Rogers K., Jenders R. Improving Outcomes with Clinical Decision Support: An Implementer’s Guide, Second Edition/Chicago: HIMSS Publishing. -2012. -48p. ISBN 978-0984457731; 978-1000396416.

21. Epizitone A., Moyane S.P., Agbehadji I.E. A systematic literature review of health information systems for healthcare // Healthcare. -2023. -Vol. 11(7): 959. DOI 10.3390/healthcare11070959.

22. Berner E.S., La Lande T.J. Overview of clinical decision support systems //Clinical Decision Support Systems. -2016. -P. 1-17. DOI 10.1007/978-3-319-31913-1\_1.

23. DesRoches C.M., Campbell E.G., Rao S.R., et al. Electronic health records in ambulatory care -A national survey of physicians // The New England Journal of Medicine. -2008. - Vol. 359(1). -P. 50–60. DOI 10.1056/NEJMsa0802005.

24. Häyrinen K., Saranto K., Nykänen P. Definition, structure, content, use and impacts of electronic health records: A review of the research literature // International Journal of Medical Informatics. -2008. -Vol. 77(5). - P. 291-304. DOI 10.1016/j.ijmedinf.2007.09.001.

25. Becker S.H., Arenson R.L. Costs and benefits of picture archiving and communication systems // Journal of the American Medical Informatics Association. - 1994. -Vol. 1(5). -P. 361-371. DOI  [10.1136/jamia.1994.95153424](https://doi.org/10.1136/jamia.1994.95153424)

***Information about the authors***

Seitenov A.S. - PhD student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: altynbekss@gmail.com;

Zhukabayeva T.K.- PhD, Professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: [tamara.kokenovna@gmail.com](mailto:tamara.kokenovna@gmail.com).

***Сведения об авторах***

Сейтенов А.С. - докторант, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилёва, Астана, Казахстан, e-mail: altynbekss@gmail.com;

Жукабаева Т.К. - PhD, профессор, Евразийский национальный университет им. Л.Н.Гумилёва, Астана, Казахстан, e-mail: [tamara.kokenovna@gmail.com](mailto:tamara.kokenovna@gmail.com).

МРНТИ 50.41.29

**СРАВНЕНИЕ ПОДХОДОВ ДОПОЛНЕННОЙ ПОИСКОМ ГЕНЕРАЦИИ ДЛЯ СИСТЕМ АНАЛИЗА НОРМАТИВНО-ПРАВОВЫХ АКТОВ КАЗАХСТАНА**

**И. Н. Букенова**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-9847-433X)**🖂, С. И. Компан**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0003-9412-1945)**, Г.С. Букенов**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0001-9409-3871)**, Б.А. Казангапова** [D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-5196-8885)

*Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан*

**🖂**Корреспондент - автор- [ibukenowa@mail.ru](mailto:ibukenowa@mail.ru)

Фундаментальными ограничениями для LLM остаются их статичные знания и, следовательно, риск генерации недостоверной информации, “галлюцинаций”. Технология Retrieval-Augmented Generation (RAG) была предложена для преодоления этих проблем путем интеграции с внешними базами знаний с проверенной актуальной информацией. Однако стандартные RAG парадигмы на основе векторов оказались неэффективны для сложных запросов, в которых необходимы более глубокие размышления или синтез информации из нескольких фрагментов. Как перспективная альтернатива рассматривается GraphRAG, вид RAG использующий структурированное представление знаний в виде графов. Но вопрос сравнительной эффективности, баланса качества и ресурсов для GraphRAG против векторных систем, особенно в специфических направлениях (как правовая система Казахстана), исследован еще недостаточно. Данная работа представляет количественный эксперимент: мы сравнили базовый векторный RAG с двумя конфигурациями Microsoft GraphRAG (локальным/глобальным поиском), используя gpt-4.1-nano и text-embedding-3-small для создания индексов. Эксперимент проводился на корпусе 15 НПА РК (10.1 млн. символов, 1.24 млн. слов, ~28,700 фрагментов). Был создан синтетический датасет из 250 вопросов - 50 одношаговых, 100 многошаговых, 100 тематических. Для оценки применялся комплекс метрик: качество поиска (NDCG@10, Context Recall/Precision), качество ответа (LLM-as-Judge оценка по релевантности, точности, полноте, обоснованности) и ресурсы (стоимость/задержка). Результаты (p<0.05) свидетельствуют: GraphRAG с локальным поиском (оптимально при доле извлечения текста 0.50) статистически превосходит векторный RAG по качеству извлечения в multi-hop задачах (NDCG@10: 0.657 vs 0.555, +18.6%; Context Recall: 0.710 vs 0.544, +16.6%, при пиковой Context Precision 0.784). GraphRAG с глобальным поиском лидирует по качеству итоговых ответов для тематических вопросов (Quality Score: 3.89; +22.3% vs векторного RAG). Анализ параметров локального поиска GraphRAG подтвердил наличие явного Парето-фронта “качество-ресурсы”. На основе полученных результатов мы сделали выводы: графовые системы формируют границу производительности для сложных запросов, но ценой больших затрат, векторный RAG сравнительно хорошо справляется с одиночными вопросами, при этом экономичнее. Исследование дает эмпирические основания для выбора RAG-архитектуры в зависимости от предпочтений в юридической сфере, учитывая тип запроса и ресурсы.

**Ключевые слова:** генерация дополненная поиском, информационный поиск, большие языковые модели, графовые представления знаний, векторные представления знаний

**COMPARISON OF SEARCH-AUGMENTED GENERATION APPROACHES FOR REGULATORY ANALYSIS SYSTEMS IN KAZAKHSTAN**

**I. N.** **Bukenova🖂, S. I. Kompan, G.S. Bukenov, В.А. Kazangapova**

*Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,*

e-mail: ibukenowa@mail.ru

The main technical challenges that affect LLMs include frozen knowledge maintenance and the generation of “hallucinations.” RAG tries to tackle the problem through external knowledge base linkage to models which verify their information sources. Our investigation exposed that standard vector-based RAG struggles when handling combined information retrieval tasks from multiple knowledge sources. The knowledge organization system GraphRAG presents another option instead of standard vector-based systems. Research needs more extensive evaluation of GraphRAG performance relative to vector-based methods and their quality versus cost impact in Kazakhstan’s legal context. An experiment was conducted to assess Microsoft GraphRAG (local and global search configurations) when compared to a baseline vector RAG for text generation purposes with gpt-4.1-nano and text-embedding-3-small indexing model selection. A total of 15 Kazakhstani legal documents served as the corpus basis containing 10.1M characters together with 1,24M words and 28,700 fragments. After creating 250 test questions we separated them into single-step (50) and multi-step (100) and thematic (100) categories. The assessment analyzed how well information was retrieved using NDCG@10 and Context Recall/Precision measurements as well as how well the system performed in generating answers (relevance, accuracy, completeness, and justification) and the allocation of resources against evaluation tasks (cost, latency). Significant findings emerged (p<0.05). The best performance was achieved by GraphRAG with local search when operating at 50% text extraction because it provided superior results to vector RAG throughout multi-step queries (+18.6% NDCG@10 to 0.657; +16.6% Context Recall at 0.710; peak Context Precision 0.784). The global search GraphRAG variant produced answers with superior quality ratings for thematic questions (3.89 Quality Score which represented a 22.3% better score than vector RAG). Science-based optimization proved that GraphRAG creates a separate area in the quality-resource design space. The increased complexity level of using graph-based systems comes with associated higher implementation expenses. Vector RAG stands as an economically advantageous solution for basic information queries. The obtained results help engineers pick RAG architectures for legal applications through combinations of query requirements and system resource guidelines.

**Keywords:** аugmented Search Generation, Information Search, Large Language Models, Graph Representations of Knowledge, Vector representations of Knowledge

**ҚАЗАҚСТАННЫҢ НОРМАТИВТІК-ҚҰҚЫҚТЫҚ АКТІЛЕРІН ТАЛДАУ ЖҮЙЕЛЕРІ ҮШІН ІЗДЕУМЕН ТОЛЫҚТЫРЫЛҒАН ГЕНЕРАЦИЯ ТӘСІЛДЕРІН САЛЫСТЫРУ**

**И.Н. Букенова🖂, С. И. Компан, Г.С. Букенов, Б.А. Казангапова**

*Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,*

e-mail: [ibukenowa@mail.ru](mailto:ibukenowa@mail.ru)

LLM үшін іргелі шектеулер олардың статикалық білімі болып қала береді, сондықтан жалған ақпарат, "галлюцинация"пайда болу қаупі бар. Retrieval-Augmented Generation (RAG) технологиясы дәлелденген өзекті ақпаратпен сыртқы білім базаларымен біріктіру арқылы осы қиындықтарды жеңу үшін ұсынылды. Дегенмен, векторларға негізделген стандартты Rag парадигмалары тереңірек ойлауды немесе бірнеше үзінділерден ақпаратты синтездеуді қажет ететін күрделі сұраулар үшін тиімсіз болып шықты. GraphRAG перспективті альтернатива ретінде білімнің графиктер түріндегі құрылымдық көрінісін пайдаланатын RAG түрі болып саналады.Бірақ салыстырмалы тиімділік, сапа балансы және graphrag үшін ресурстар мәселесі векторлық жүйелерге қарсы, әсіресе нақты бағыттарда (Қазақстанның құқықтық жүйесі ретінде) әлі зерттелмеген. Бұл жұмыс сандық экспериментті ұсынады: біз индекстерді құру үшін GPT-4.1-nano және text-embedding-3-small көмегімен негізгі векторлық RAG-ді екі Microsoft GraphRAG конфигурациясымен (жергілікті/Ғаламдық іздеу) салыстырдық. Эксперимент ҚР 15 НҚА корпусында жүргізілді (10.1 млн.таңба, 1.24 млн. сөз, ~28,700 фрагмент). 250 сұрақтан тұратын синтетикалық деректер жиынтығы құрылды - 50 бір сатылы, 100 көп сатылы, 100 тақырыптық. Бағалау үшін көрсеткіштер кешені қолданылды: іздеу сапасы (ndcg@10, Context Recall/Precision), жауап сапасы (LLM-as-Judge өзектілігі, дәлдігі, толықтығы, дұрыстығы бойынша бағалау) және ресурстар (cost/latency). Нәтижелер (P<0.05) мынаны көрсетеді: жергілікті іздеумен GraphRAG (0.50 мәтінді шығару үлесі үшін оңтайлы) көп сатылы есептердегі экстракция сапасы бойынша векторлық RAG-дан статистикалық түрде асып түседі (ndcg@10: 0.657 vs 0.555, +18.6%; Context Recall: 0.710 vs 0.544, +16.6%, шыңы кезінде context precision 0.784). Жаһандық іздеуі бар GraphRAG тақырыптық сұрақтарға қорытынды жауаптардың сапасы бойынша көш бастап тұр (Quality Score: 3.89; +22.3% vs векторлық RAG). GraphRAG жергілікті іздеу параметрлерін талдау нақты "сапа-ресурстар" Парето майданының болуын растады. Алынған нәтижелерге сүйене отырып, біз қорытынды жасадық: графикалық жүйелер күрделі сұраулар үшін өнімділік шекарасын қалыптастырады, бірақ үлкен шығындармен векторлық RAG бір сұрақтармен салыстырмалы түрде жақсы жұмыс істейді, ал үнемді. Зерттеу сұрау түрі мен ресурстарды ескере отырып, заң саласындағы қалауларға негізделген RAG архитектурасын таңдауға эмпирикалық негіз береді.

**Түйін сөздер:** іздеумен толықтырылған генерация, ақпараттық іздеу, үлкен тілдік модельдер, білімнің графикалық көріністері, білімнің векторлық көріністері

**Введение.** Генерация, дополненная поиском (RAG) расширяет функционал больших языковых моделей, сочетает их параметрическую память с внешним корпусом знаниям через ретривер [1]. Появление этого подхода обусловлено как раз ограничениями самих моделей: статичностью знаний [2, 3] и склонностью к “галлюцинациям” [4]. Проблема особенно остра в сферах с высоким требованием к точности информации, например в праве, но даже коммерческие решения тут показывают уровень галлюцинаций 17-33% [5]. Извлекая релевантную информацию во время генерации [1, 6], этот подход повышает точность ответов, превосходя, к примеру, BART на 35.6% по фактологичности (42.7% vs 7.1%), на 20.6% по специфичности (37.4% vs 16.8%) на некоторых задачах [1]. Также доминирует над моделями типа T5-11B на наукоемких задачах (+7.9% EM на NQ) [1].

Актуальность исследования обусловлена несколькими факторами. Во-первых, юридическая сфера предъявляет повышенные требования к достоверности информации: даже коммерческие LLM-решения демонстрируют уровень галлюцинаций 17-33% на юридических задачах [5], что недопустимо для практического применения. Во-вторых, правовая система Казахстана характеризуется сложной структурой взаимосвязанных нормативных актов, содержащих многочисленные отсылки между документами, что создает объективную потребность в методах, способных учитывать эти связи при информационном поиске. В-третьих, несмотря на активное развитие технологий подхода генерации дополненной поиском на основе графов, отсутствуют эмпирические данные об их эффективности на корпусах НПА постсоветских юрисдикций, что затрудняет принятие обоснованных решений при разработке систем правовой аналитики для региона СНГ. Наконец, высокая ресурсоемкость графовых методов требует количественной оценки компромиссов между качеством и затратами для обоснования их внедрения в практику.

Практическая значимость работы заключается в предоставлении эмпирических оснований для выбора архитектуры таких-систем при разработке инструментов правовой аналитики, с учетом специфики запросов и доступных вычислительных ресурсов.

Парадигмы подходов развиваются от ранних наивных и продвинутых к модульным подходам, использующих графы для представления и поиска [7], включая основанные на знаниях, на индексах и гибридные типы [2, 3], которые лучше справляются с многошаговыми рассуждениями [2]. Графовый подход выделяет этапы: построение графа, индексация, конфигурация операторов и извлечение/генерация [4]. Индексация начинается с чанкинга (размер/перекрытие влияют на стоимость/полноту [4, 8]) с использованием разных стратегий (от фиксированного размера до RCTS [9] или семантического [10]). На этапе построения графа LLM [8, 11] или OpenIE [12] извлекают сущности, отношения и утверждения. RAKG-подход улучшает графовое конструирование [10]. Используются различные графы: граф фрагментов, деревья (RAPTOR [13]), граф знаний, контекстуальный граф знаний, обогащенный граф знаний [4]. Иерархическая структуризация (например, алгоритм Leiden в Microsoft GraphRAG [8], LLM-кластеризация в ArchRAG [14], деревья кластеров RAPTOR [13], гетерогенные графы NodeRAG [11]) организует граф для высокоуровневого извлечения. Индексация создает эмбеддинги (text-embedding-3 [9], BGE-M3 [10]) для чанков, узлов и резюме сообществ [8, 11, 14], сохраняемые в векторных БД (FAISS HNSW [1], LanceDB, C-HNSW ArchRAG [14]). Для снижения стоимости предложены multi-granular индексы (KET-RAG [15]). Цикл поиска может включать декомпозицию (PlanRAG [12]), расширение (RoK [16]) или извлечение сущностей (NodeRAG [11]). Основной этап - извлечение - выполняется разными методами: стандартный векторный поиск [1], графовые локальный и глобальный поиск [8, 17], обход соседей (K-hop, PPR [11, 12]), GNN-based (GFM-RAG [18]), иерархический (ArchRAG [14], RAPTOR [13]) и гибридный (TREX [13]). Эмпирические данные показывают преимущества локального поиска для multi-hop запросов (+0.72% F1 HotpotQA [17]) и глобального поиска для тематических запросов [8]. Продвинутые методы (GFM-RAG, NodeRAG, ArchRAG, TCR-QF [19], TREX [13]) демонстрируют значительные улучшения (+16.8% R@2, +4.58% Acc, +10% Acc, +29.1% EM соответственно). Пост-обработка включает реранжирование (REBEL улучшает качество ответа [20], но общие реранкеры могут ухудшать результаты в доменах [9]). Итоговая генерация ответа выполняется LLM [1]; для глобального поиска часто используют MapReduce [4, 8]. Фреймворки вроде PAR RAG интегрируют планирование и верификацию (EM 0.75 HotpotQA [12]).

Несмотря на все это, и векторный, и графовый подход сталкиваются с вызовами. Качество извлечения ключевая проблема; оптимизация лишь по релевантности недостаточна “relevance bottleneck” [20]. Уязвимость к проблеме ошибочного извлечения (падение точности до 45.8% [21]) и низкая точность извлечения в сфере права (Precision@1 < 15% [9]) сохраняется. Автоматически построенные графы знаний страдают от потери информации и неполноты [19, 22]. Это снижает производительность (до -14.7% точности при разрыве пути [22]). Качество графа напрямую влияет на результат [10]. Стоимость и эффективность - важный аспект. Построение и индексация графов затратны [13, 15] (графовый ~2.8x дороже векторный [23]). Сложные пайплайны (PAR RAG, глобальный поиск) характеризуются высокой задержкой и стоимостью (иногда >100K токенов/запрос [4, 12]). Оптимизация гиперпараметров сложна из-за множества целей и стоимости оценки [23]. Оценка - нерешенная проблема, стандартные метрики слабо коррелируют с человеческими суждениями (ρ Спирмена ~0.48 [24]), использование языковых моделей в качестве судей ненадежны (α < 0.16 [24]), бенчмарки не измеряют сложность [25], оценка OLAP-запросов открыта [13]. LLM трудно синтезировать информацию из множества документов (эффект «потери в середине» [13]), а интеграция рассуждений чревата избыточным обдумыванием [6].

Следует отметить, что большинство существующих исследований систем для юридической сферы сфокусированы на англоязычных корпусах и юрисдикциях общего права [9], тогда как специфика правовых систем СНГ, основанных на романо-германской традиции и характеризующихся иной структурой кодификации, остается недостаточно изученной. Исследования по применению технологий в правовой сфере в регионе СНГ немногочисленны и преимущественно посвящены отдельным прикладным задачам, без систематической оценки современных архитектур.

Эти ограничения определяют актуальность исследования. Цель работы - провести количественную оценку сравнительной эффективности векторных и графовых подходов применительно к корпусу нормативно-правовых актов Республики Казахстан, с выявлением компромиссов между качеством извлечения информации и вычислительными ресурсами. Задачи исследования: Построить экспериментальную инфраструктуру для сравнения базового векторного и двух конфигураций Microsoft GraphRAG (локальный и глобальный поиск) на корпусе НПА РК. Оценить статистически значимые различия в качестве извлечения контекста (NDCG@10, Context Recall/Precision) между графовым локальным поиском и векторным на multi-hop запросах. Исследовать влияние параметра доли извлечения текста (p(txt)) в локальном поиске на баланс между качеством извлечения и потреблением ресурсов. Установить сравнительную эффективность глобального поиска относительно векторного для тематических запросов по метрикам качества финального ответа. Определить позиционирование исследуемых систем в пространстве «качество-ресурсы» и выявить наличие доминирующего Парето-фронта. Гипотеза исследования: Графовые подходы обеспечивают статистически значимое превосходство над векторными методами в задачах, требующих многошагового рассуждения и тематического обобщения, формируя доминирующий фронт в пространстве «качество-ресурсы», однако ценой существенно больших вычислительных затрат. Научная новизна исследования заключается в следующем: Впервые проведена количественная оценка эффективности графовых подходов применительно к корпусу НПА постсоветской юрисдикции (Республика Казахстан). Установлены статистически значимые закономерности влияния параметра доли извлечения текста p(txt) на баланс качества и ресурсов в локальном поиске, включая выявление нелинейных зависимостей и точки оптимума. Проведен комплексный Парето-анализ позиционирования векторных и графовых систем в многомерном пространстве метрик качества и ресурсов для различных типов запросов. Получены эмпирические свидетельства формирования графовыми системами доминирующего Парето-фронта для сложных multi-hop и тематических запросов в правовой предметной области. Исследовательские вопросы: RQ1. Обеспечивает ли GraphRAG с локальным поиском статистически значимое (p<0.05) превосходство над векторным на multi-hop запросах? RQ2. Как изменение параметра доли извлечения текста p(txt) в локальном поиске влияет на метрики качества и ресурсы (latency (задержка отклика), стоимость) при обработке multi-hop запросов? RQ3. Превосходит ли GraphRAG с глобальным поиском векторный по метрикам качества итогового ответа и полноты контекста на тематических запросах (p<0.05)? RQ4. Какова конфигурация исследуемых систем в пространстве «качество-ресурсы» и формируют ли графовые подходы доминирующий Парето-фронт относительно векторных методов? исследовательские вопросы RQ. 1. Превосходит ли Graph RAG с локальным поиском векторный для multi-hop запросов (p<0.05)? 2. Как p(txt) локального поиска влияет на разные метрики для multi-hop запросов запросах? 3. Лучше ли глобальный поиск графового способа, чем векторный на тематических запросах)? (4. Каково позиционирование систем в пространстве “качество-ресурсы” и формируют ли графовые RAG доминирующий фронт?

**Материалы и методы.** Корпус составили 15 НПА Казахстана: (Административный, Гражданский (Общая и Особенная) части, Гражданский, Уголовный, Уголовно-процессуальный, Предпринимательский, Трудовой, Земельный, О браке (супружестве) и семье, Налоговый кодекс. Также вошли Конституция РК и законы о противодействии коррупции, о правовых актах и о жилищных отношениях). Общий объем: 10.1 млн. символов, 1.24 млн. слов. Исходные HTML мы взяли с «Әділет», для обработки написали парсер, он выполнял обход DOM дерева документов и находил структурные единицы (статьи, пункты, подпункты) на основе регулярных выражений (r"Статья\s+(\d+)", r"^(\d+)\.", r"^(\d+)\)") и анализе тэгов (<p>, <b>, <i>). Каждому фрагменту присваивался идентификатор (он формировался конкатенацией из кода документа, номера статьи и иерархии пунктов/подпунктов (пример: NK\_RK\_st681\_p8\_sp1)), извлекался текст, метаданные и ссылки. Была получена коллекция из 28,718 фрагментов. Пример записи: {"fragment\_id": "NK\_RK\_st681\_p8\_sp1", ..., "text": "...в соответствии со статьями 330, ....", "cross\_refs": [{"link\_text": "статьями 330", "raw\_href": "/rus/docs/K1700000120#z330"}, ...], ...}.

Из-за отсутствия бенчмарка создан синтетический датасет (250 пар “вопрос-ответ”), что является распространенной практикой [9, 25]. Вопросы генерировались c gpt-4.1-nano, 3 типов: single-hop (ответ в одном фрагменте), multi-hop (требуют синтеза из нескольких связанных фрагментов [2, 6]) и thematic (общая тема, OLAP-подобные [13]). Каждая запись в датасете содержит question\_id, question, question\_type, ground\_truth\_ids((список fragment\_id) и source\_fragments\_text (тексты). Примеры записей (вопросов) в датасете: для single-hop: {"question\_id": "q\_074", "question": "Каковы последствия расторжения инвестиционного контракта, по которому я получал инвестиционную субсидию?", "question\_type": "single-hop", "ground\_truth\_ids": ["PK\_RK\_st295\_p6-1"], "source\_fragments\_text": ["В случае расторжения инвестиционного контракта юридическое лицо Республики Казахстан возмещает в полном объеме сумму инвестиционной субсидии, выплаченной по инвестиционному контракту."]}, для thematic: {"question\_id": "234", "question": "Каковы сроки и порядок уплаты корпоративного подоходного налога?", "question\_type": "thematic", "ground\_truth\_ids": ["NK\_RK\_st306\_p1", "NK\_RK\_st306\_p2", "NK\_RK\_st306\_p3", "NK\_RK\_st305\_p2\_sp1"], "source\_fragments\_text": ["Если иное не установлено настоящей статьей, налогоплательщик осуществляет уплату по корпоративному подоходному налогу по итогам налогового периода не позднее десяти календарных дней после срока...", "Сумма корпоративного подоходного налога, подлежащего уплате в бюджет, уменьшается на сумму корпоративного подоходного налога...", "Налогоплательщик, удерживающий корпоративный подоходный налог у источника выплаты...", "уплату исчисленных авансовых платежей по корпоративному подоходному налогу…"]}. Для multi-hop: {"question\_id": "q\_049", "question": "Как происходит погашение налоговой задолженности, если умерший человек был индивидуальным предпринимателем?", "question\_type": "multi-hop", "ground\_truth\_ids": ["NK\_RK\_st66\_p9", "NK\_RK\_st47\_p2"], "source\_fragments\_text": ["Налоговая задолженность индивидуального предпринимателя или лица, занимающегося частной практикой, прекращающих деятельность, погашается за счет денег указанного индивидуального предпринимателя или лица, занимающегося частной практикой, в том числе полученных от реализации его имущества, в порядке очередности, установленной законами Республики Казахстан.", "В случае если наследник (наследники) является (являются) несовершеннолетним (несовершеннолетними), то обязательство по погашению налоговой задолженности физического лица, образовавшейся на день его смерти или на дату объявления его умершим, в пределах стоимости наследуемого имущества и пропорционально доле в наследстве на дату его получения возлагается на такого (таких) наследника (наследников) только на основании вступившего в силу решения суда."]}.

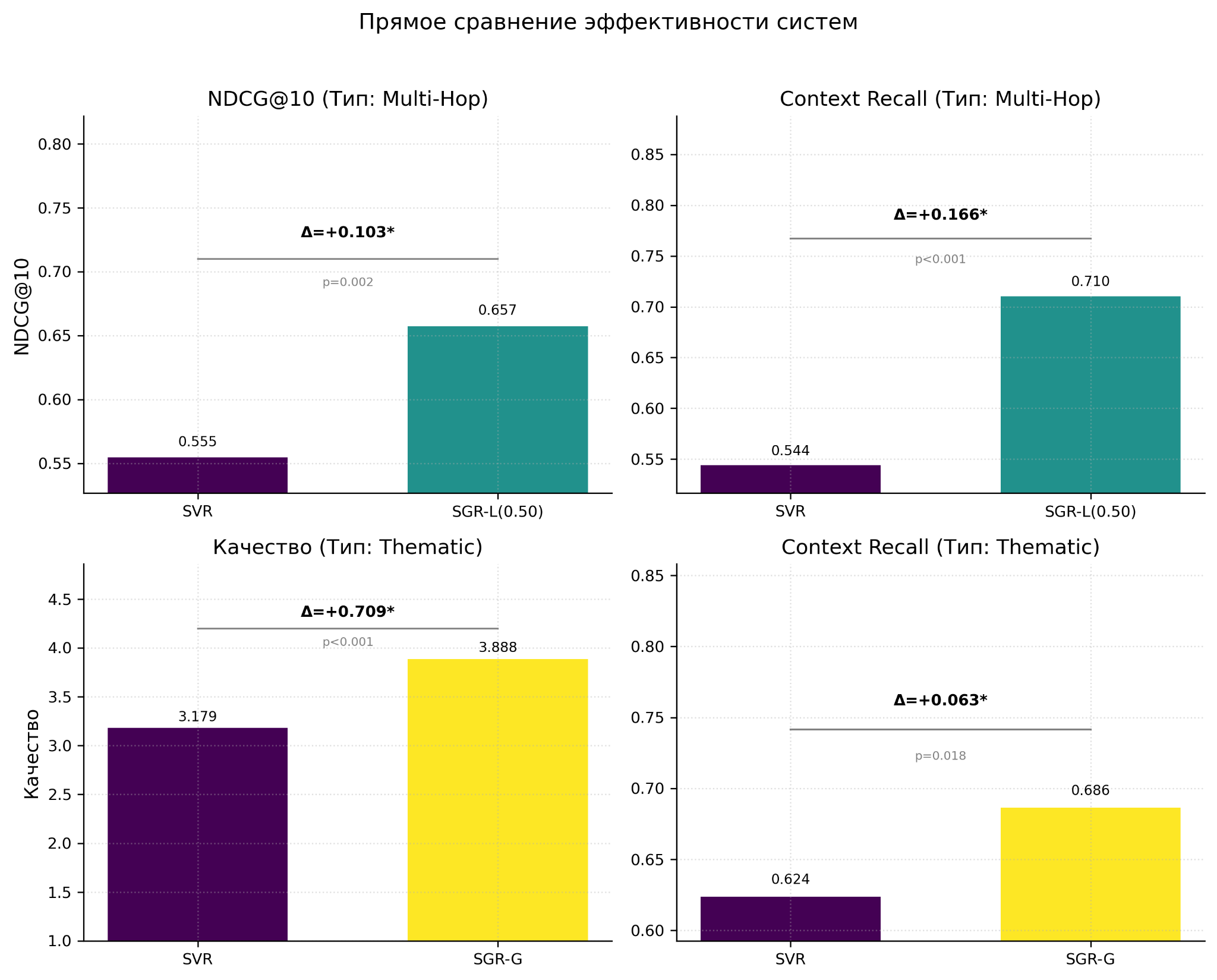
Индекс построен фреймворком Microsoft GraphRAG [8]. Использовались gpt-4.1-nano и модель text-embedding-3-small. Текстовые фрагменты (TextUnits, ~35,000 после чанкинга длинных текстов (chunk\_size=1024, chunk\_overlap=100)) индексировались. Чанки группировались по fragment\_id. Граф строился извлечением сущностей (11 типов: Person, Organization, Location, Event, Statute, Regulation, CaseLaw, Term, Penalty, Right, Obligation) и семантических отношений с помощью LLM [8]. Извлеченные ранее кросс-ссылки были добавлены как структурные ребра. Итоговый граф включал узлы сущностей и текстовые единицы, а также вышеперечисленные типы ребер. Параметры экстракции: max\_gleanings=2, batch\_size=4. Применялся алгоритм Leiden для иерархической кластеризации графа (L1, L2) [4, 8]. Генерировались эмбеддинги для TextUnits, сущностей, отношений и резюме кластеров [8]. Финальный индекс состоял из набора файлов Apache Parquet (entities.parquet, relationships.parquet, communities.parquet, reports.parquet, text\_units.parquet) и векторного индекса LanceDB для эмбеддингов. Векторный индекс для построен библиотекой FAISS [1] на тех же эмбеддингах и TextUnits, использовался IndexHNSWFlat с косинусной метрикой. Все системы использовали gpt-4.1-nano для генерации ответов. Конфигурации: GR-L(p) - графовый локальный [8, 17], поиск от близких к запросу узлов к соседям; параметр p(txt) (доля извлекаемых текстов из сообществ) тестировался для значений 0.25, 0.50, 0.75. GR-G - графовый глобальный [8, 17], поиск по резюме сообществ верхнего уровня (L2), подходит для тематических запросов [13]. VR - стандартный векторный [1], поиск k=5 ближайших фрагментов. Оценка включала: метрики извлечения (NDCG@10, ContextRecall, ContextPrecision, MRR@10, Recall@5, Precision@5); метрики ресурсов (время ответа, стоимость API вызовов по тарифам gpt-4.1-nano-2025-04-14 вход: $0.10 / выход: $0.40); метрику качества ответа (оценка LLM-судьей gpt-4.1-mini по 5-балльной шкале по релевантности, точности, полноте, обоснованности) (такая оценка соответствует современным практикам) [8, 24, 26].

**Обсуждение и результаты.** В этом разделе представлены результаты.Рассмотрим таблицу 1. Порядок вопросов для всех систем сверху вниз: многошаговые, одношаговые, тематические. Значения метрик указаны средние. стоимость указана умноженная на 1000. Примечание: в таблице не написаны типы вопросов с целью экономии места.

**Таблица 1- Системы - типы вопросов – метрики**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Система** | **NDCG@10** | **Recall** | **Precision** | **Quality** | **Latency** | **Стоимость** |
| GR-G | 0.677 | 0.808 | 0.622 | 3.688 | 22289 | 0.772 |
|  | 0.634 | 0.790 | 0.702 | 3.625 | 17941 | 0.698 |
|  | 0.702 | 0.686 | 0.601 | 3.888 | 23437 | 0.818 |
| GR-L 0.25 | 0.627 | 0.611 | 0.745 | 3.571 | 9817 | 0.350 |
|  | 0.715 | 0.702 | 0.729 | 3.555 | 7627 | 0.311 |
|  | 0.640 | 0.628 | 0.735 | 3.475 | 10224 | 0.394 |
| GR-L 0.5 | 0.657 | 0.710 | 0.784 | 3.613 | 15709 | 0.549 |
|  | 0.758 | 0.783 | 0.751 | 3.521 | 13854 | 0.489 |
|  | 0.677 | 0.709 | 0.769 | 3.582 | 19216 | 0.608 |
| GR-L 0.75 | 0.618 | 0.828 | 0.494 | 3.620 | 22533 | 0.752 |
|  | 0.682 | 0.835 | 0.560 | 3.433 | 22973 | 0.678 |
|  | 0.620 | 0.763 | 0.611 | 3.380 | 28222 | 0.818 |
| VR | 0.555 | 0.544 | 0.487 | 3.305 | 11318 | 0.220 |
|  | 0.684 | 0.789 | 0.734 | 3.656 | 10168 | 0.209 |
|  | 0.549 | 0.624 | 0.465 | 3.179 | 11164 | 0.243 |

RQ B1: Сравнение GR-L(0.50) и векторного на multi-hop запросах выявило преимущество графового подхода. Средний [NDCG@10](about:blank) для GR-L(0.50) составил 0.657 против 0.555 у векторного. Средний ContextRecall также выше: 0.710 против 0.544. Визуальное сравнение представлено на Рисунке 1 (верхние панели).



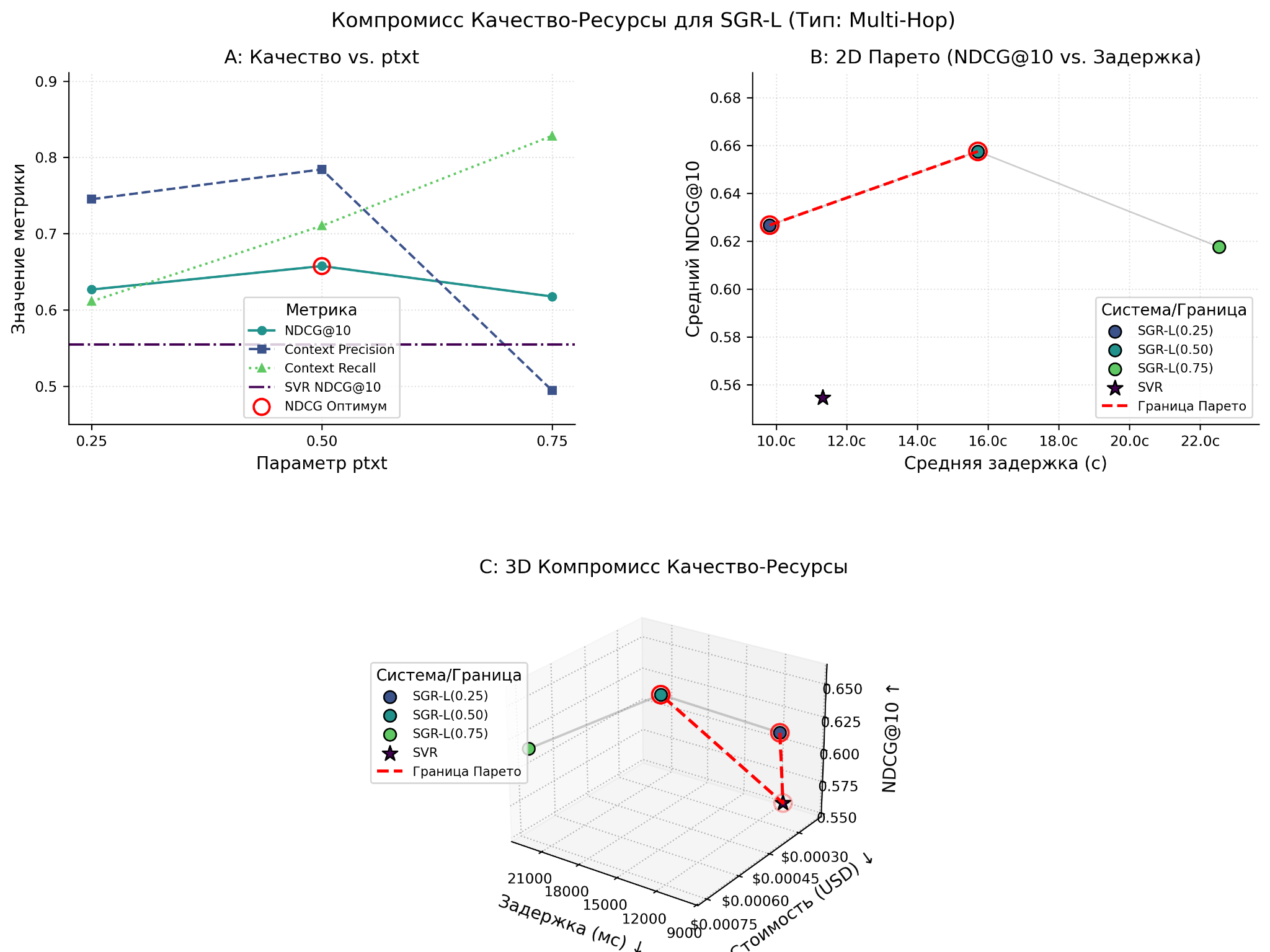
**Рис. 1- Сравнение систем на multi-hop запросах (RQ B1, верхние панели) и на тематических запросах (RQ B3, нижние панели)**

Статистический анализ подтвердил значимость этих различий (таблица 2). Это свидетельствует о статистически значимом превосходстве графового локального в извлечении релевантного контекста для multi-hop запросов.

**Таблица 2- Результаты парного t-теста. Сравнение графового локального с векторным на multi-hop запросах и глобальным графовым с векторным на тематических запросах**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Сравнение** | **Метрика** | **Статистика t** | **p-значение** | **Ср. разница** |
| GR-L 0.25 vs VR | NDCG@10 | 2.078 | 0.0202 | +0.072 |
|  | ContextRecall | 2.229 | 0.0141 | +0.067 |
| GR-L 0.50 vs VR | NDCG@10 | 2.986 | 0.0018 | +0.103 |
|  | ContextRecall | 5.561 | <0.0001 | +0.166 |
| GR-L 0.75 vs VR | NDCG@10 | 1.859 | 0.0330 | +0.063 |
|  | ContextRecall | 10.126 | <0.0001 | +0.284 |
| GR-G vs VR | Quality Score | 7.713 | <0.0001 | +0.709 |
|  | ContextRecall | 2.126 | 0.0180 | +0.063 |

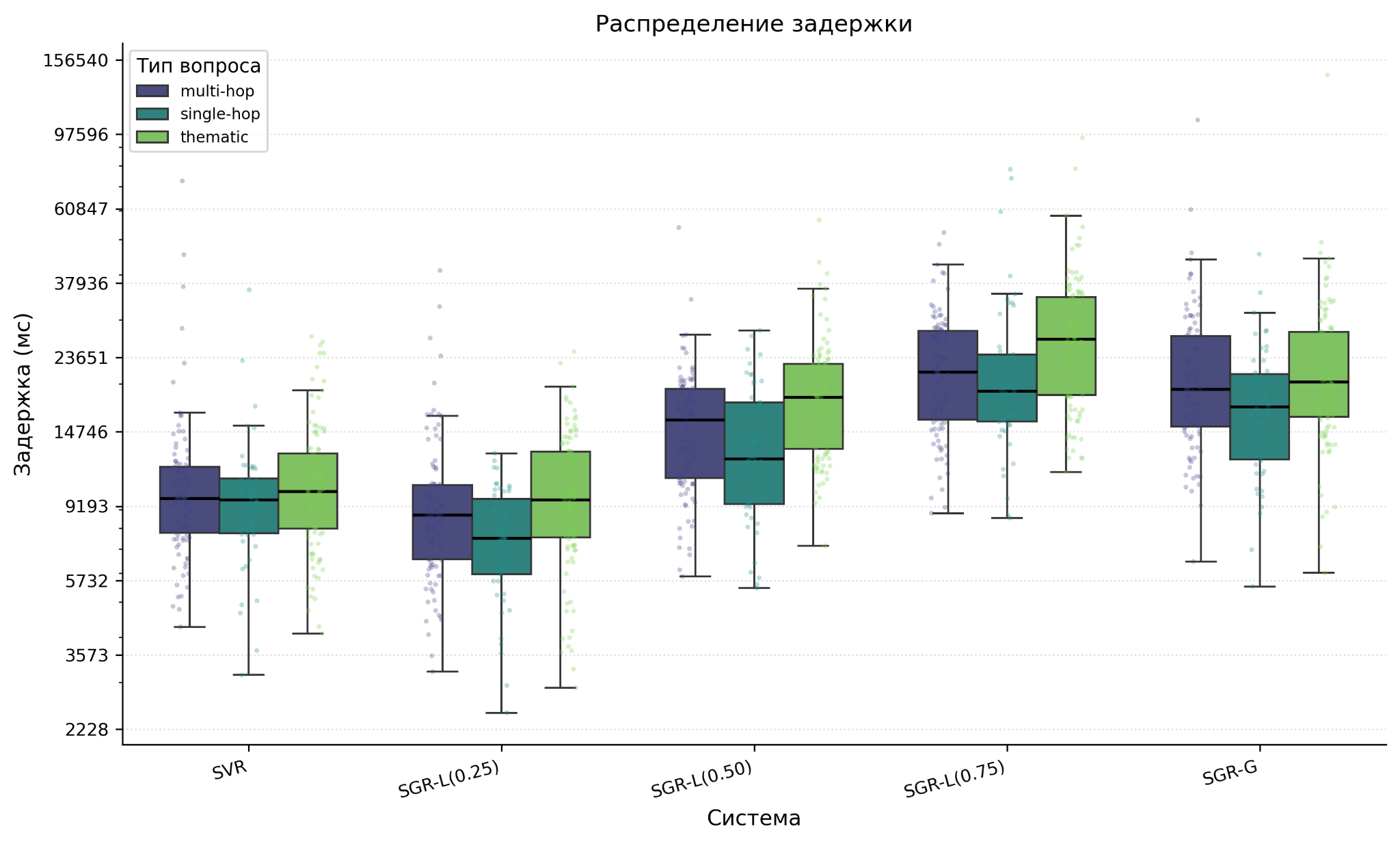
Исследование параметра p для графового локального для multi-hop запросов доказало нелинейную зависимость и компромиссы (рисунок 2, панель A). Средний NDCG@10 достигает максимума (0.657) прb p = 0.50, снижаясь при p = 0.75 (0.618). ContextPrecision также максимален при p = 0.50 (0.784) и резко падает при p = 0.75 (0.494). ContextRecall монотонно растет с p (таблица 1). Затраты ресурсов также монотонно увеличиваются с ростом p (таблица 1, Рисунок 3).



**Рис. 2 - Анализ компромиссов на multi-hop запросах (RQ B2)**

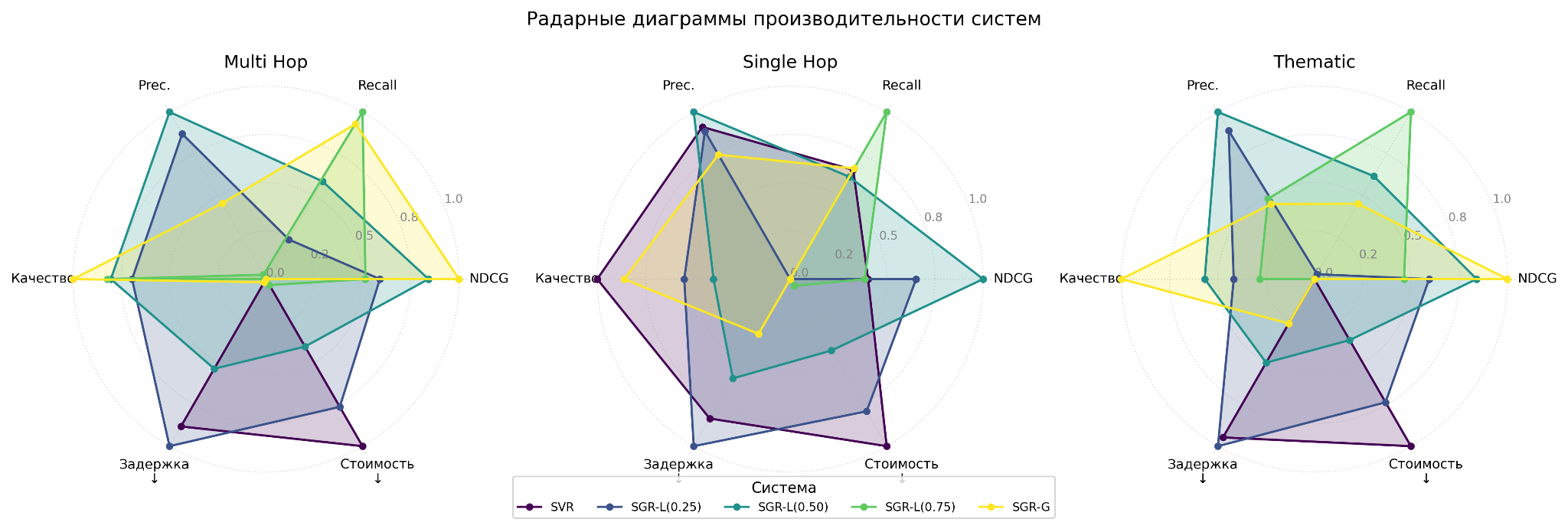
*A: Зависимость NDCG@10 и ContextPrecision от p(txt). B: Парето-фронт в пространстве NDCG@10 vs Latency. C: Парето-фронт в пространстве NDCG@10 vs. Задержка vs. Стоимость. Отмечен оптимальный по NDCG@10 вариант графового локального с 0.50*

Парето анализ (см. рисунок 2, панели B и C) показывает, что графовые локальные варианты формируют фронт компромисса. Параметр 0.50 представляет собой сбалансированный вариант, наилучшее качество ранжирования NDCG@10 и умеренные затраты ресурсов среди графовых систем с локальным поиском. Векторный находится вне этого фронта, уступая по NDCG@10 при сравнимой или большей задержке, чем с параметром 0.25)



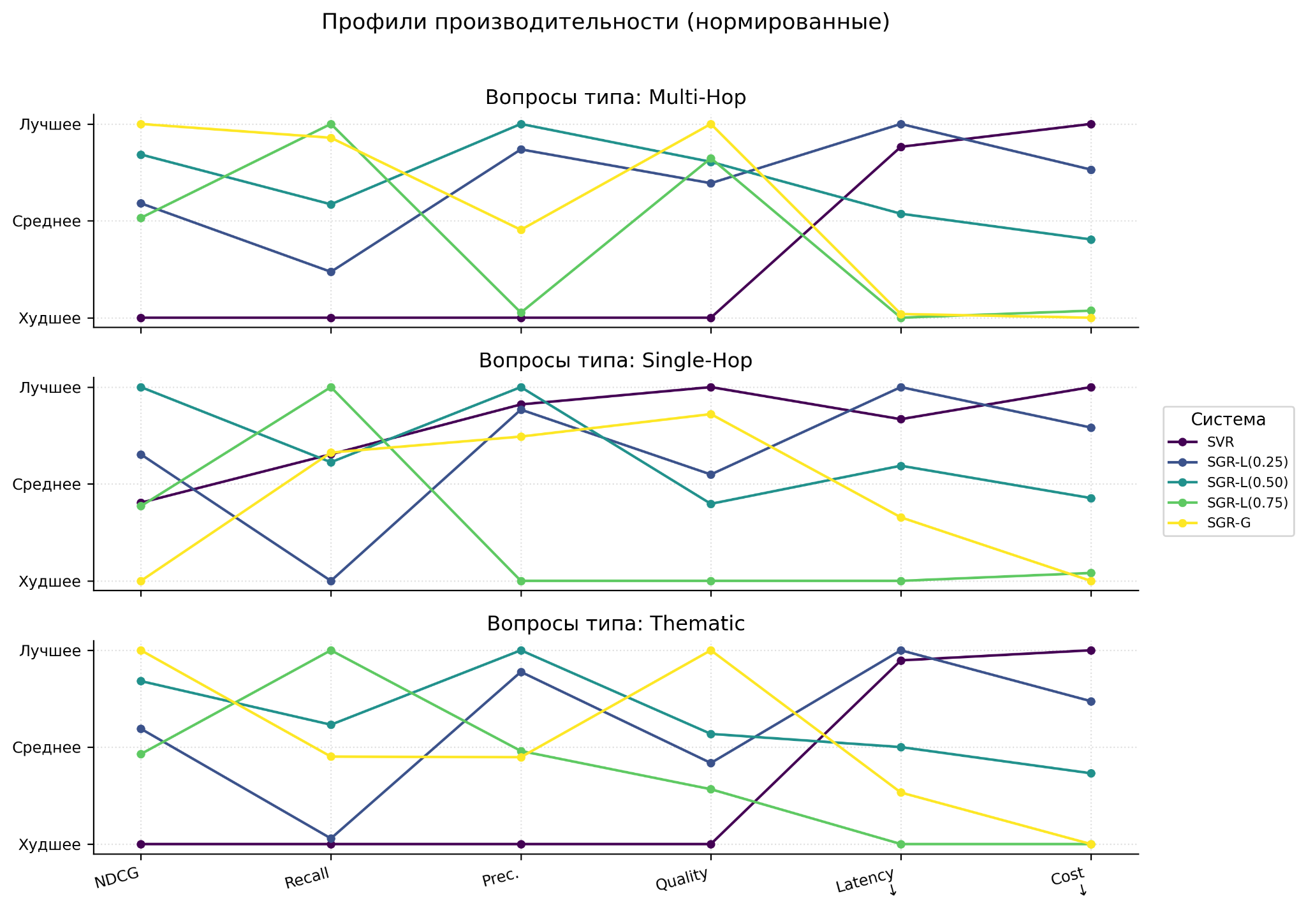
**Рис. 3 - Распределение времени задержки (ms) по системам и типам запросов (логарифмическая шкала). Показаны медианные значения (k = 1000)**

На тематических запросах глобальный графовый показал лучшие результаты по качеству финального ответа. Средняя оценка качества для него составил 3.89 против 3.18 у векторного (Рисунок 1, нижние панели). ContextRecall также был выше у графового глобального (0.686 против 0.624). Статистический анализ (Таблица 2) подтвердил значимость этих различий (p < 0.0001 для качества ответа, p = 0.018 для ContextRecall). Система глобального обеспечивает более качественные и полные ответы на тематические запросы по сравнению с векторным. Общий анализ производительности систем выявляет четкие профили (Таблица 1, Рисунки 4 - радарные диаграммы, 5, 6). Векторный является наиболее экономичной системой по ресурсам (минимальные средние задержка и стоимость для всех типов запросов). Однако ее показатели качества (NDCG@10, ContextRecall, Качество) уступают графовым аналогам, особенно на multi-hop и тематических запросах. Локальный демонстрирует гибкость. Изменение параметра позволяет настраивать баланс между качеством и ресурсами. 0.25 - наиболее быстрый и дешевый графовый вариант. 0.50 часто является оптимальным компромиссом. 0.75 обеспечивает максимальную полноту (ContextRecall) ценой снижения точности и увеличения затрат. Глобальный лидирует по качеству ответов и качеству ранжирования (NDCG@10) на тематических запросах. Она также показывает высокие результаты на multi-hop запросах. Однако эта система является наиболее ресурсоемкой (максимальные средние задержка, стоимость).

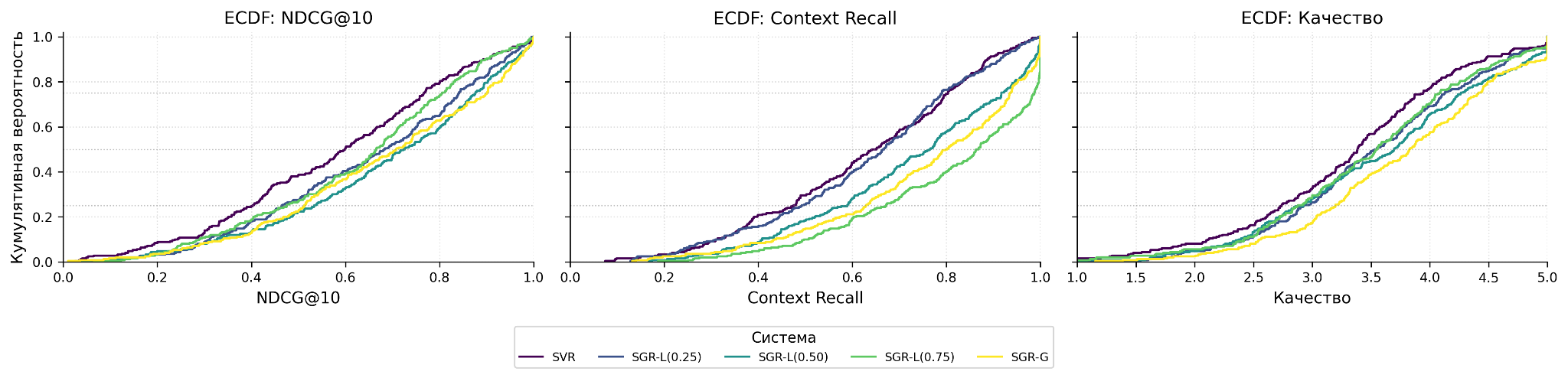


**Рис. 4 - Радар-диаграммы для сравнения производительности систем по нормализованным метрикам (Precision, Recall, NDCG@10, качество ответа (Quality Score), задержка (Latency), стоимость) для каждого типа вопросов. Оси Задержка и Стоимость инвертированы (лучше - дальше от центра)**

Эмпирические кумулятивные функции распределения (Рисунок 6) подтверждают эти наблюдения. Кривые для графовых систем локального и глобального часто смещены вправо (к лучшим значениям) по сравнению с векторным для метрик NDCG@10 и ContextRecall. Для качества доминирует графовые общие}.



**Рис. 5-Диаграммы параллельных координат для визуализации профилей производительности систем по нормализованным метрикам для каждого типа вопросов. Оси ресурсов инвертированы (выше - лучше)**



**Рис. 6- ECDF для метрик NDCG@10, Context Recall, Качество по типам вопросов**

В целом, графовые системы локального, глобального формируют доминирующий Парето-фронт в пространстве "качество-ресурсы". Предлагают лучшее качество извлечения по сравнению с векторным, особенно для multi-hop и тематических запросов. Но требуют больших вычислительных ресурсов. Выбор конкретной системы зависит от приоритетов задачи: экономия ресурсов - векторный, сбалансированная производительность - локальный с 0.50 или максимальное качество на тематических запросах - глобальный.

**Выводы.** Наши результаты эмпирически подтверждают преимущества графовых подходов над векторными для сложных запросов. Локальные статистически достоверно (p<0.05) улучшает метрики извлечения NDCG@10 и Recall для multi-hop вопросов по сравнению с векторным. В частности, локальный (с долей извлечения текста 0.50) улучшил NDCG@10 на 0.103 (до 0.657) и Context Recall на 0.166 (до 0.710) относительно векторного.

Это коррелирует с выводами [17] о доминировании локального поиска на multi-hop задачах и подкрепляет гипотезу [2, 3] о пользе явного моделирования связей для multi-hop рассуждений. Возможность локального перемещаться по графу связей, видимо, способствует более эффективному нахождению и агрегации фрагментов для multi-hop запросов, в отличие от векторного, ограниченного поиском ближайших векторных соседей.

Схожим образом, глобальный демонстрирует значимое преимущество над векторным для тематических запросов по оценке Качества (+0.709) и Context Recall (+0.063). Это согласуется с работами [8, 13], характеризующими глобальный поиск как эффективный инструмент для OLAP-запросов или "sensemaking", требующих агрегации данных по всему корпусу. Применение агрегированных резюме сообществ [8] в глобальном обеспечивает высокоуровневый контекст для тематических вопросов, чего сложно достичь векторным.

Изучение p для локальных показало компромисс: оптимальное значение 0.50 для NDCG@10 и Context Precision, при монотонном росте Recall (а также Задержки и Стоимости) с увеличением p. Это очерчивает Парето-фронт "качество-ресурсы". Это указывает на необходимость оптимизации RAG, что является актуальной темой исследований [23]. Примечательно, что векторная система оказалась доминируемой даже GR-L(0.25) по NDCG@10/Latency, что подчеркивает ограниченную эффективность векторного подхода для комплексных запросов при учете ресурсов. Общий анализ позиционирования систем показал: векторный – самый экономичный, но уступает в качестве на сложных задачах. Глобальный лидирует по качеству тематических ответов, но наиболее ресурсозатратен, что подтверждает данные о стоимости глобального поиска [4].

Локальный предлагает настраиваемый баланс качество/ресурсы. Графовые системы (графовый, глобальный) в целом формируют доминирующий Парето-фронт по качеству для multi-hop и тематических запросов [2]. Наши результаты соответствуют оценке [23], что графовый в среднем требует значительно (~2.8x) больше ресурсов, чем векторный

*Практические рекомендации*. На основе полученных результатов можно сформулировать следующие рекомендации по выбору архитектуры для задач правовой аналитики. Для систем с ограниченным бюджетом вычислительных ресурсов и преобладанием простых фактологических запросов целесообразно использование базового векторного. Для приложений, требующих обработки сложных multi-hop запросов с синтезом информации из множества связанных фрагментов НПА, рекомендуется GraphRAG с локальным поиском при p(txt)=0.50 как оптимальный компромисс качества и ресурсов. Для аналитических систем, ориентированных на тематические обзоры и обобщения по широким правовым вопросам, оправдано применение GraphRAG с глобальным поиском, несмотря на повышенную ресурсоемкость. При проектировании систем необходимо предусматривать возможность гибридного подхода с выбором метода поиска в зависимости от типа запроса, определяемого автоматически. Настоящее исследование демонстрирует преимущества Microsoft GraphRAG над базовым векторным для корпуса НПА РК. Вместе с тем, следует признать существование более продвинутых графовых архитектур (NodeRAG [11], GFM-RAG [18], RAPTOR [13], PAR RAG [12], ArchRAG [14]), демонстрирующих дальнейшее улучшение различных метрик в англоязычных бенчмарках. Пространство возможных конфигураций систем чрезвычайно обширно, охватывая множество парадигм (наивный, продвинутый, модульный, итеративный, агентный, адаптивный), этапов обработки (индексация, обработка запроса, извлечение, постобработка, генерация) и специфических методов на каждом этапе (например, для обработки запросов: переформулирование, расширение, декомпозиция. Сравнение всех возможных конфигураций выходит за рамки одного исследования.

Этические и практические аспекты применения. Необходимо подчеркнуть, что использование таких систем в юридической практике сопряжено с рисками. Несмотря на улучшение показателей точности, графовые и векторные системы не гарантируют полного отсутствия галлюцинаций или ошибочных интерпретаций правовых норм. Применение таких систем должно предусматривать обязательную верификацию результатов квалифицированными юристами, особенно в случаях, влияющих на права и обязанности граждан. Юридическая ответственность за принятие решений на основе рекомендаций LLM-систем остается предметом дискуссии и требует законодательного регулирования.

Разработчики и пользователи подобных систем должны учитывать необходимость обеспечения интерпретируемости результатов и прозрачности процесса принятия решений.

Ограничениями же нашей работы являются: использование корпуса одной юрисдикции; синтетический характер датасета, не отражающий всех реальных сложностей и уязвимостей (например, misleading retrieval [21]); сравнение с ограниченным числом подходов; использование LLM-судьи [13, 24] для оценки качества и отсутствие прямой оценки качества графа [10, 22] или уровня галлюцинаций [5]. Перспективы включают тестирование на реальных запросах, оценку робастности [21, 22], сравнение с более широким спектром архитектур [11, 14, 15, 17, 18], разработку надежных методов оценки [9, 24], изучение методов улучшения графа [10, 19], применение реранжирования [20] и исследование агентных подходов [6, 7] для сложных юридических задач.

**Литература**

1. Lewis P., Perez E., Piktus A., Petroni F., Karpukhin V., Goyal N., Küttler H., Lewis M., Yih W.t., Rocktäschel T., Riedel S. & Kiela D. Retrieval-Augmented Generation for Knowledge-Intensive NLP Tasks // arXiv preprint arXiv:2005.11401.-2020. DOI 10.48550/arXiv.2005.11401.

2. Zhang Q., Chen S., Bei Y., Yuan Z., Zhou H., Hong Z., Dong J., Chen H., Chang Y., Huang X. A Survey of Graph Retrieval-Augmented Generation for Customized Large Language Models // arXiv preprint arXiv:2501.13958. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2501.13958.

3. Zhu Z., Huang T., Wang K., Ye J., Chen X. & Luo S. Graph-based Approaches and Functionalities in Retrieval-Augmented Generation: A Comprehensive Survey // arXiv preprint arXiv:2504.10499. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.10499.

4. Zhou Y., Su Y., Sun Y., Wang S., Wang T., He R., Zhang Y., Liang S., Liu X., Ma Y. & Fang, Y. In-depth Analysis of Graph-based RAG in a Unified Framework // arXiv preprint arXiv:2503.04338. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2503.04338.

5. Magesh V., Surani F., Dahl M., Suzgun M., Manning C. D. & Ho D. E. Hallucination-Free? Assessing the Reliability of Leading AI Legal Research Tools // arXiv preprint arXiv:2405.20362. -2024. DOI 10.48550/arXiv.2405.20362.

6. Gao Y., Xiong Y., Zhong Y., Bi Y., Xue M. & Wang H. Synergizing RAG and Reasoning: A Systematic Review // arXiv preprint arXiv:2504.15909. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.15909.

7. Singh A., Ehtesham A., Kumar S. & Talaei Khoei T. Agentic Retrieval-Augmented Generation: A Survey on Agentic RAG//arXiv preprintarXiv:2501.09136.-2025. DOI 10.48550/arXiv.2501.09136.

8. Edge D., Trinh H., Cheng N., Bradley J., Chao A., Mody A., Truitt S., Metropolitansky D., Ness R. O. & Larson J. From Local to Global: A Graph RAG Approach to Query-Focused Summarization // arXiv preprint arXiv:2404.16130. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2404.16130.

9. Pipitone N. & Houir Alami G. LegalBench-RAG: A Benchmark for Retrieval-Augmented Generation in the Legal Domain//arXiv preprint arXiv:2408.10343.-2024. DOI 10.48550/arXiv.2408.10343.

10. Zhang H., Si J., Yan G., Qi B., Cai P., Mao S., Wang D. & Shi B. RAKG: Document-Level Retrieval Augmented Knowledge Graph Construction // arXiv preprint arXiv:2504.09823. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.09823.

11. Xu T., Zheng H., Li C., Chen H., Liu Y., Chen R. & Sun L. NodeRAG: Structuring Graph-based RAG with Heterogeneous Nodes // arXiv preprint arXiv:2504.11544.-2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.11544.

12. Zhang N., Zhang C., Tan Z., Yang X., Deng W. & Wang W. Credible Plan-Driven RAG Method for Multi-Hop Question Answering//arXiv preprint arXiv:2504.16787.-2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.16787.

13. Cahoon J., Singh P., Litombe N., Larson J., Trinh H., Zhu Y., Mueller A., Psallidas F., Curino C. Optimizing Open-Domain Question Answering with Graph-Based Retrieval Augmented Generation // arXiv preprint arXiv:2503.02922. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2503.02922.

14. Wang S., Fang Y., Zhou Y., Liu X., Ma Y. ArchRAG: Attributed Community-based Hierarchical Retrieval-Augmented Generation//arXiv preprint arXiv:2502.09891.-2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.09891.

15. Huang Y., Zhang S. & Xiao X. KET-RAG: A Cost-Efficient Multi-Granular Indexing Framework for Graph-RAG // arXiv preprint arXiv:2502.09304.-2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.09304.

16. Yuan X., Liu Y., Di S., Wu S., Zheng L., Meng R., Chen L., Zhou X., Yin J. A Pilot Empirical Study on When and How to Use Knowledge Graphs as Retrieval Augmented Generation // arXiv preprint arXiv:2502.20854. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.20854.

17. Han H., Shomer H., Wang Y., Lei Y., Guo K., Hua Z., Long B., Liu H., Tang J. RAG vs. GraphRAG: A Systematic Evaluation and Key Insights // arXiv preprint arXiv:2502.11371. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.11371.

18. Luo L., Zhao Z., Haffari G., Phung D., Gong C., Pan S. GFM-RAG: Graph Foundation Model for Retrieval Augmented Generation // arXiv preprint arXiv:2502.01113. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.01113.

19. Huang M., Bu C., He Y., Wu X. How to Mitigate Information Loss in Knowledge Graphs for GraphRAG: Leveraging Triple Context Restoration and Query-Driven Feedback//arXiv preprint arXiv:2501.15378. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2501.15378.

20. LeVine W., Varjavand B. Relevance Isn’t All You Need: Scaling RAG Systems With Inference-Time Compute via Multi-Criteria Reranking//arXiv preprint arXiv:2504.07104. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.07104.

21. Zeng L., Gupta R., Motwani D., Yang D., Zhang Y. Worse than Zero-shot? A Fact-Checking Dataset for Evaluating the Robustness of RAG Against Misleading Retrievals//arXiv preprint arXiv:2502.16101. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.16101.

22. Zhou D., Zhu Y., He Y., Chen J., Kharlamov E., Staab S. Evaluating Knowledge Graph Based Retrieval Augmented Generation Methods Under Knowledge Incompleteness//arXiv preprint arXiv:2504.05163. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.05163.

23. Barker M., Bell A., Thomas E., Carr J., Andrews T., Bhatt U. Faster, Cheaper, Better: Multi-Objective Hyperparameter Optimization for LLM and RAG Systems//arXiv preprint arXiv:2502.18635. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2502.18635.

24. Gienapp L., Hagen T., Fröbe M., Hagen M., Stein B., Potthast M., Scells H. The Viability of Crowdsourcing for RAG Evaluation//arXiv preprint arXiv:2504.15689.-2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.15689.

25. Lee J., Kwon D., Jin K., Jeong J., Sim M., Kim M. MHTS: Multi-Hop Tree Structure Framework for Generating Difficulty-Controllable QA Datasets for RAG Evaluation//arXiv preprint arXiv:2504.08756. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.08756.

26. Gan A., Yu H., Zhang K., Liu Q., Yan W., Huang Z., Tong S. & Hu G. Retrieval Augmented Generation Evaluation in the Era of Large Language Models: A Comprehensive Survey//arXiv preprint arXiv:2504.14891. -2025. DOI 10.48550/arXiv.2504.14891.

***Сведения об авторах***

Букенова И.Н. - магистр технических наук, лектор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: [ibukenowa@mail.ru](mailto:ibukenowa@mail.ru);

Букенов Г.С. - магистр технических наук, лектор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: [gani1212@bk.ru](mailto:gani1212@bk.ru);

Компан С.И. - Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: [a.sv21@mail.ru](mailto:a.sv21@mail.ru);

Казангапова Б.А.- ассоциированный профессор, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: [kbayana@mail.ru](mailto:kbayana@mail.ru).

***Information about the authors***

Bukenova I. - Master of Technical Sciences, lecturer, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [ibukenowa@mail.ru](mailto:ibukenowa@mail.ru);

Bukenov G. - Master of Technical Sciences, lecturer, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [gani1212@bk.ru](mailto:gani1212@bk.ru);

Kompan S. - Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [a.sv21@mail.ru](mailto:a.sv21@mail.ru);

Kazangapova B. - Associate Professor, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [kbayana@mail.ru](mailto:kbayana@mail.ru).

МРНТИ 28.23.29

**Модуль категоризации товаров для маркетплейса: анализ алгоритмов и выбор оптимального решения**

**Н.С. Глазырина**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-0259-774X)**🖂, Р.Р. Бирназаров**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0009-7625-4852)**, Ж.С. Есенгалиева**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-5318-9850)

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

**🖂**Корреспондент-автор: [glazirinan@yandex.ru](mailto:glazirinan@yandex.ru)

С развитием электронной коммерции маркетплейсы стали ключевыми платформами для взаимодействия покупателей и продавцов. Ежедневно на них добавляется множество новых товаров, требующих категоризации для эффективного управления ассортиментом, повышения точности поиска товаров и формирования персонализированных рекомендаций. В данном исследовании представлен модуль категоризации товаров, разработанный на Python 3.10.10, который решает задачу категоризации товаров по их текстовому описанию (104 026 товаров, 62 категории). Был проведен комплексный анализ классических алгоритмов (Random Forest, SVM, Logistic Regression, Multinomial Naïve Bayes) и нейросетевых архитектур (RNN, CNN, Transformer), а также ансамблевого подхода (Random Forest + Decision Tree + Logistic Regression). Предобработка данных включала токенизацию, удаление стоп-слов и неалфавитных символов, стемминг и нормализацию текста. Эксперименты на тестовой выборке (20 805 записей) показали, что Random Forest обеспечивает точность 94,2% при времени обработки 74,9 мс, превосходя нейросетевые модели (RNN - 91,6%, Transformer - 90,9%) и ансамбль (94,3% при 75,2 мс). Научная новизна заключается в доказательстве применимости классических алгоритмов машинного обучения (в частности, Random Forest) для задач средней сложности при ограниченных вычислительных ресурсах и в разработке комплексного подхода к выбору оптимальной модели категоризации товаров на маркетплейсе. Результаты демонстрируют, что Random Forest является оптимальным решением для интеграции в реальные системы маркетплейсов, обеспечивая высокую точность без значительного роста вычислительной нагрузки.

**Ключевые слова:** маркетплейс, категоризация товаров, Random Forest, обработка естественного языка, стемминг, TF-IDF, электронная коммерция.

**маркетплейс ҮШІН ӨНІМДердІ САНАТТАУ МОДУЛі: АЛГОРИТМДЕРДІ ТАЛДАУ ЖӘНЕ ОҢТАйЛЫ ШЕШІМДІ ТАҢДАУ**

**Н.С. Глазырина🖂, Р.Р. Бирназаров, Ж.С. Есенгалиева**

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

e-mail: [glazirinan@yandex.ru](mailto:glazirinan@yandex.ru)

Электрондық коммерцияның дамуымен маркетплейстер сатып алушылар мен сатушылар арасындағы өзара әрекеттесудің негізгі платформаларына айналды. Күн сайын оларға көптеген жаңа өнімдер қосылады, олар ассортиментті тиімді басқару, өнімді іздеудің дәлдігін арттыру және жекелендірілген ұсыныстарды жасау үшін санаттауды қажет етеді. Бұл зерттеу Python 3.10.10-да әзірленген өнімді санаттау модулін ұсынады, олардың мәтіндік сипаттамасына негізделген өнімді санаттау мәселесін шешеді (104 026 өнім, 62 санат). Классикалық алгоритмдерге (Random Forest, SVM, Logistic Regression, Multinomial Naïve Bayes), нейрондық желі архитектураларына (RNN, CNN, Transformer), және ансамбльдік тәсілге (Random Forest + Decision Tree + Logistic Regression) кешенді талдау жүргізілді. Деректерді алдын ала өңдеу таңбалауды, токенизациялауды, стоп-сөздер мен әліпбилік емес таңбалар жоюды, стемминг және мәтінді нормализациялауды қамтиды. Сынақ жинағы бойынша эксперименттер (20 805 жазба) Random Forest 74,9 мс өңдеу уақытымен 94,2% дәлдікті қамтамасыз ететінін көрсетті, бұл нейрондық желі үлгілерінен (RNN – 91,6%, Transformer – 90,9%) және ансамбльден (94,3%, 75,2 мс) асып түседі. Ғылыми жаңалық компьютерлік оқытудың классикалық алгоритмдерін (атап айтқанда, Random Forest) шектеулі есептеу ресурстары жағдайында күрделілігі орташа тапсырмалар үшін қолдану мүмкіндігін дәлелдеуде және нарықта өнімді категориялаудың оңтайлы моделін таңдауға кешенді тәсілді әзірлеуде жатыр. Нәтижелер Random Forest маркетплейс жүйелерге біріктіру үшін оңтайлы шешім екенін көрсетеді, ол есептеу жүктемесін айтарлықтай арттырмай жоғары дәлдікті қамтамасыз етеді.

**Түйін сөздер:** маркетплейс, өнімді санаттау, Random Forest, табиғи тілді өңдеу, стемминг, TF-IDF, электрондық коммерция.

**PRODUCT CATEGORIZATION MODULE FOR MARKETPLACE PLATFORMS: ALGORITHM ANALYSIS AND OPTIMAL SOLUTION SELECTION**

**N.S. Glazyrina🖂, R.R. Birnazarov, Zh.S. Yessengaliyeva**

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

e-mail: [glazirinan@yandex.ru](mailto:glazirinan@yandex.ru)

With the growth of e-commerce, marketplaces have become key platforms for interaction between buyers and sellers. Every day, a large number of new products are added, requiring categorization to enable efficient assortment management, improve search accuracy, and generate personalized recommendations. This study presents a product categorization module developed in Python 3.10.10, which addresses the task of classifying products based on their textual descriptions (104 026 products, 62 categories). A comprehensive analysis was conducted on classical algorithms (Random Forest, SVM, Logistic Regression, Multinomial Naïve Bayes) and neural network architectures (RNN, CNN, Transformer), as well as an ensemble approach (Random Forest + Decision Tree + Logistic Regression). Data preprocessing included tokenization, removal of stopwords and non-alphabetic characters, stemming, and text normalization. Experiments on a test set (20 805 entries) showed that Random Forest achieved an accuracy of 94.2% with a processing time of 74.9 ms, outperforming neural network models (RNN - 91.6%, Transformer - 90.9%) and the ensemble method (94.3% at 75.2 ms). The scientific novelty lies in proving the applicability of classical machine learning algorithms (in particular, Random Forest) for tasks of medium complexity under conditions of limited computing resources and in developing a comprehensive approach to selecting the optimal product categorization model on a marketplace. The results show that Random Forest is an optimal solution for integration into real-world marketplace systems, providing high accuracy without significant computational overhead.

**Keywords:** marketplace, product categorization, Random Forest, natural language processing, stemming, TF-IDF, e-commerce.

**Введение.** Рост ассортимента товаров на маркетплейсах делает традиционные методы ручной категоризации экономически неэффективными [1]. Автоматизация этого процесса необходима для поддержания актуальности каталогов, улучшения навигации, поиска и формирования персонализированных рекомендаций [2].

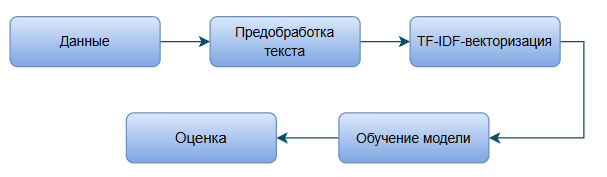
В контексте реализации Концепции цифровой трансформации, развития отрасли информационно-коммуникационных технологий и кибербезопасности на 2023 - 2029 годы развитие интеллектуальных систем автоматизации торговли приобретает особую значимость. Автоматическая категоризация товарных данных способствует цифровой трансформации отечественных маркетплейсов, снижает издержки и повышает конкурентоспособность электронной коммерции Казахстана [3]. Вопросы разработки и применения интеллектуальных информационных систем в Казахстане также находят отражение в трудах местных исследователей, например, в работах, посвященных анализу и перспективам внедрения AI-решений в цифровой экономике [4, 5].

Актуальность задачи обусловила активное внимание исследователей к разработке методов автоматической категоризации. Так, авторы работы [6] использовали визуальные характеристики набора данных, содержащего 186 150 изображений одежды, для ее категоризации по 52 классам с использованием CNN на основе ResNet34 и модели Seq to Seq (F-score 92% и 90% соответственно). В исследовании [7] система GoldenBullet для автоматической классификации товаров на основе 41 913 записей с использованием SVM, k-NN и Naïve Bayes показала точность 60%, 45% и 78% соответственно. В работе [8] алгоритм GcForest для классификации 4000 товаров по 35 категориям достиг точности 92,38%, превзойдя SVM и CNN. В работе [9] нейросетевая архитектура на эмбеддингах Word2Vec для 445 408 товаров (319 категорий) достигла F1-меры 0,88. Авторы [10], сравнивая XGBoost, SVM, Bi-LSTM, BERT, XLM и XLM-RoBERTa на данных турецких онлайн-гипермаркетов (19 411 товаров), получили наилучшие результаты для Bi-LSTM и BERT (Accuracy 96.6%, F1-score 94.5%). Исследования [11-14] демонстрируют применение различных нейросетевых и ансамблевых методов для категоризации крупных массивов данных, достигая точности от 81% до 91.44%.

Анализ современных работ демонстрирует разнообразие подходов — от классических алгоритмов машинного обучения до сложных нейросетевых архитектур. Однако, как показывают исследования [7-10, 15], выбор оптимального метода зависит не только от максимальной точности, но и от таких практических факторов, как объем данных, вычислительные ресурсы и требования к скорости обработки.

В отличие от рассмотренных работ, фокус нашего исследования направлен на поиск оптимального баланса между точностью категоризации и вычислительной эффективностью для условий ограниченных ресурсов.

**Материалы и методы.** В разделе приведено описание набора данных, применяемого в экспериментальных исследованиях, этапы предварительной обработки и используемые алгоритмы классификации. На рисунке 1 представлен обобщённый конвейер (pipeline) модуля категоризации товаров, включающий этапы загрузки данных, предобработки текста, векторизации признаков, обучения классификационных моделей и оценки полученных результатов.



**Рис. 1 - Обобщенный конвейер (pipeline) модуля категоризации товаров**

*Источник: разработано автором*

***Набор данных.***Набор данных включает в себя 104 026 записей и содержит сведения об автотоварах, распределенных по 62 категориям. Из них 83 221 запись будут использована для обучения моделей, а 20 805 — для тестирования. В таблице 1 представлен фрагмент набора данных.

**Таблица 1 - Фрагмент набора данных**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Идентификатор товара** | **Наименование товара** | **Идентификатор категории** | **Наименование категории** |
| 31433218 | Тормозные колодки YAMAHA OS443/для квадроцикла Yamaha | 4066 | Колодки для квадроциклов |
| 32115388 | Щетка для чистки цепи | 4023 | Другие автозапчасти для мотоциклов |
| 13534798 | Композитная цепь противоскольжения Easy Grip EVO 10, 2 шт. | 3629 | Антипробуксовочные приспособления |

Набор данных включает следующие столбцы: уникальный идентификатор товара; наименование товара; числовой идентификатор категории; наименование категории.

В качестве исходных данных использовались текстовые наименования товаров.

***Предварительная обработка текста.*** Предварительная обработка включает приведение текста к нижнему регистру, удаление стоп-слов, токенизацию, удаление неалфавитных токенов, стемминг и сборку токенов в строку.

Приведение текста к нижнему регистру выполнено с помощью метода lower() для унификации написания (пример: «АВТОМОБИЛЬНОЕ масло Mobil» → «автомобильное масло mobil»).

Для удаления стоп-слов был использован список стоп-слов русского языка из библиотеки NLTK.

Токенизация текста выполнена с помощью word\_tokenize() из NLTK (пример: «летние шины michelin pilot sport 4 225/45 r17» → ['летние', 'шины', 'michelin', 'pilot', 'sport', '4', '225/45', 'r17']).

Для удаления неалфавитных токенов и стоп-слов токены были отфильтрованы по условию: [token for token in tokens if token.isalpha() and token not in russian\_stop\_words] (пример: ['моторное', 'масло', 'mobil', '1', '5w-30', ',', '4', 'литра'] → ['моторное', 'масло', 'mobil', 'литра']).

Стемминг преобразование осуществлялось с применением стеммера Snowball для русского языка (пример: «моторное» → «моторн», «летние» → «летн»).

Далее токены объединялись в строку: preprocessed\_text = ' '.join(tokens).

Пример итогового результата препроцессинга: исходное описание «Автомобильное моторное масло Mobil 1 5W-30, 4 литра» преобразовано в «автомобильн моторн масл mobil литр». После предобработки в набор данных добавлено поле Наименование товара после предобработки (таблица 2).

**Таблица 2 - Фрагмент набора данных с полем preprocessed\_item\_title**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Идентификатор товара** | **Наименование товара** | **Идентификатор категории** | **Наименование категории** | **Наименование товара после предобработки** |
| 31433218 | Тормозные колодки YAMAHA OS443/для квадроцикла Yamaha | 4066 | Колодки для квадроциклов | тормозн колодк yamaha квадроцикл yamaha |
| 32115388 | Щетка для чистки цепи | 4023 | Другие автозапчасти для мотоциклов | щетк чистк цеп |
| 13534798 | Композитная цепь противоскольжения Easy Grip EVO 10, 2 шт. | 3629 | Антипробуксовочные приспособления | композитн цеп противоскольжен easy grip evo шт |

**Алгоритмы классификации.** Далее представлены применяемые алгоритмы машинного обучения, которые были протестированы для разработки модуля категоризации товаров на маркетплейсе.

Мультиномиальный наивный Байес (MultinomialNB). Использован с параметрами: alpha=1.0, class\_prior=None, fit\_prior=True.

Логистическая регрессия (Logistic Regression). Параметры: solver='lbfgs', penalty='l2', C=1.0, max\_iter=1000, class\_weight=None.

Метод опорных векторов (SVM). Параметры: kernel='rbf', C=1.0, gamma='scale', class\_weight=None.

Дерево решений (Decision Tree). Параметры: criterion='gini', max\_depth=None, min\_samples\_leaf=1, min\_samples\_split=2, max\_features=None.

Случайный лес (Random Forest). Параметры: n\_estimators=100, criterion='gini', max\_depth=None, min\_samples\_leaf=1, min\_samples\_split=2, max\_features='sqrt', bootstrap=True.

Рекуррентная нейронная сеть (RNN). Архитектура сети представлена в таблице 3. Параметры: VOCAB\_SIZE = len(t.word\_index) + 1, EMBED\_SIZE = 1024, LSTM\_UNITS = 64, DENSE\_SIZE = 64, Dropout=0.3, EPOCHS=10, BATCH\_SIZE=64.

Сверточная нейронная сеть (CNN). Архитектура сети представлена в таблице 4. Параметры: EMBED\_SIZE=1024, два слоя Conv1D (128 и 64 фильтров, ядро=3), MaxPooling1D, GlobalMaxPooling1D, DENSE\_SIZE=64, Dropout=0.4, EPOCHS=10, BATCH\_SIZE=64.

Трансформер (Transformer). Архитектура сети представлена в таблице 5. Параметры: VOCAB\_SIZE=20079, EMBED\_SIZE=256, NUM\_HEADS=4, NUM\_LAYERS=3, FF\_DIM=64, EPOCHS=10, BATCH\_SIZE=64, Dropout=0.3, learning\_rate=0.0001.

**Таблица 3 - Архитектура RNN**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Слой (Тип)** | **Форма выхода** | **Параметры** |
| embedding (Embedding) | (None, None, 1024) | 20,560,896 |
| lstm (LSTM) | (None, None, 128) | 590,336 |
| lstm\_1 (LSTM) | (None, None, 128) | 131,584 |
| global\_max\_pooling1d (GlobalMaxPooling1D) | (None, 128) | 0 |
| dense (Dense) | (None, 64) | 8,256 |
| dropout (Dropout) | (None, 64) | 0 |
| dense\_1 (Dense) | (None, 62) | 4,03 |

**Таблица 4 - Архитектура CNN**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Слой (Тип)** | **Форма выхода** | **Параметры** |
| embedding\_2 (Embedding) | (None, None, 1024) | 20560896 |
| conv1d\_2 (Conv1D) | (None, None, 128) | 393344 |
| max\_pooling1d\_2 (MaxPooling1D) | (None, None, 128) | 0 |
| conv1d\_3 (Conv1D) | (None, None, 64) | 24640 |
| max\_pooling1d\_3 (MaxPooling1D) | (None, None, 64) | 0 |
| global\_max\_pooling1d\_2 (GlobalMaxPooling1D) | (None, 64) | 0 |
| dense\_4 (Dense) | (None, 64) | 4160 |
| dropout\_2 (Dropout) | (None, 64) | 0 |
| dense\_5 (Dense) | (None, 62) | 4030 |

**Таблица 5 ­- Архитектура трансформера**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Слой (Тип)** | **Форма выхода** | **Параметры** | **Слой (Тип)** |
| input\_layer (InputLayer) | (None, None) | 0 | - |
| embedding (Embedding) | (None, None, 128) | 2,570,112 | input\_layer[0][0] |
| multi\_head\_attention (MultiHeadAttention) | (None, None, 128) | 66,048 | embedding[0][0], embedding[0][0] |
| add (Add) | (None, None, 128) | 0 | embedding[0][0], multi\_head\_attention[0][0] |
| layer\_normalization (LayerNormalization) | (None, None, 128) | 256 | add[0][0] |
| dropout\_1 (Dropout) | (None, None, 128) | 0 | layer\_normalization[0][0] |
| sequential (Sequential) | (None, None, 128) | 16,576 | dropout\_1[0][0] |
| add\_1 (Add) | (None, None, 128) | 0 | dropout\_1[0][0], sequential[0][0] |
| layer\_normalization\_1 (LayerNormalization) | (None, None, 128) | 256 | add\_1[0][0] |
| multi\_head\_attention\_1 (MultiHeadAttention) | (None, None, 128) | 66,048 | layer\_normalization\_1[0][0], layer\_normalization\_1[0][0] |
| add\_2 (Add) | (None, None, 128) | 0 | layer\_normalization\_1[0][0], multi\_head\_attention\_1[0][0] |
| layer\_normalization\_2 (LayerNormalization) | (None, None, 128) | 256 | add\_2[0][0] |
| dropout\_4 (Dropout) | (None, None, 128) | 0 | layer\_normalization\_2[0][0] |
| sequential\_1 (Sequential) | (None, None, 128) | 16,576 | dropout\_4[0][0] |
| add\_3 (Add) | (None, None, 128) | 0 | dropout\_4[0][0], sequential\_1[0][0] |
| layer\_normalization\_3 (LayerNormalization) | (None, None, 128) | 256 | add\_3[0][0] |
| global\_average\_pooling1d (GlobalAveragePooling1D) | (None, 128) | 0 | layer\_normalization\_3[0][0] |
| dense\_4 (Dense) | (None, 62) | 7,998 | global\_average\_pooling1d[0][0] |

**Обсуждение и результаты.** Для выбора оптимального алгоритма были проведены экспериментальные исследования на наборе данных, содержащего 104 026 записей о товарах (83 221 - обучение, 20 805 - тест). Тестовая выборка репрезентативна, сохраняя пропорциональное распределение классов. Для оценки качества моделей использовались метрики: время работы (Время, мс), Общая точность (Accuracy), Точность предсказания (Precision), Полнота (Recall) и F1-мера (F1-score). Результаты сравнения моделей приведены в таблице 6.

**Таблица 6 - Значения метрик классификационных моделей**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Время, мс** | **Общая точность** | **Точность предсказания** | **Полнота** | **F1-мера** |
| **Мультиномиальный наивный Байес** | 0,76 | 0,820 | 0,858 | 0,820 | 0,787 |
| **Логистическая регрессия** | 3,819 | 0,905 | 0,912 | 0,905 | 0,895 |
| **Метод опорных векторов** | 3219 | 0,942 | 0,944 | 0,942 | 0,937 |
| **Дерево решений** | 1,921 | 0,916 | 0,925 | 0,916 | 0,911 |
| **Случайный лес** | 74,9 | 0,942 | 0,948 | 0,942 | 0,936 |
| **Рекуррентная нейронная сеть** | 35,38 | 0,916 | 0,923 | 0,916 | 0,912 |
| **Сверточная нейронная сеть** | 40,43 | 0,904 | 0,915 | 0,904 | 0,899 |
| **Трансформер** | 101,08 | 0,909 | 0,915 | 0,909 | 0,904 |

Алгоритм мультиномиальный наивный Байес (MultinomialNB) показывает приемлемое время обработки (0,76 мс), но уступает другим моделям по Accuracy (0,820), Precision (0,858), Recall (0,820) и F1-score (0,787). Модели логистической регрессии и дерева решений демонстрируют высокую скорость обработки (3,819 мс и 1,921 мс соответственно), но по качественным метрикам уступают модели случайного леса (Accuracy 0,905 и 0,916 против 0,942). Нейросетевые модели и Transformer показывают сопоставимые результаты по Accuracy (0,904 и 0,909), но время работы Transformer выше (101,08 мс против 40,43 мс у CNN). Модель RNN показывает хороший баланс (Accuracy 0,916, время 35,38 мс), но также уступает Random Forest.

Алгоритм случайного леса (Random Forest) демонстрирует наилучшие результаты среди рассмотренных моделей по основным метрикам: Accuracy — 0,942, Precision — 0,948, Recall — 0,942 и F1-score — 0,936. При этом время выполнения составляет 74,955 мс, что остается приемлемым с учетом высокой точности классификации.

Для решения задачи категоризации был также построен ансамбль (ENS), объединяющий Дерево решений, Случайный лес и Логистическую регрессию. Итоговый класс определялся на основе голосования. Итоговые метрики ансамбля приведены в таблице 7.

**Таблица 7 - Значения метрик ансамбля классификационных моделей**

|  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- |
|  | **Время, мс** | **Общая точность** | **Точность предсказания** | **Полнота** | **F1-мера** |
| **Ансамбль** | 75,244 | 0,943 | 0,949 | 0,943 | 0,937 |

Ансамбль (ENS) продемонстрировал Accuracy 0,943 и F1-score 0,937, тогда как модель Random Forest показала 0,942 и 0,936 соответственно. Разница составила всего 0,001 по обеим метрикам, но время работы ансамбля (75,244 мс) оказалось чуть выше, чем у Random Forest (74,955 мс).

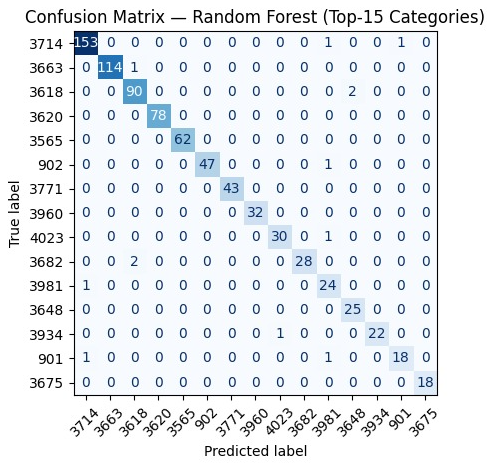
Анализ параметрической чувствительности. Было исследовано влияние ключевых гиперпараметров на эффективность алгоритма Random Forest. На точность классификации существенное влияние оказывают n\_estimators (количество деревьев) и max\_depth (максимальная глубина деревьев). Увеличение n\_estimators до 100 привело к значительному росту точности и стабильности модели, тогда как дальнейшее увеличение дало незначительный прирост (<0.1%) при существенном росте вычислительных затрат. Таким образом, значение n\_estimators=100 было признано оптимальным. Полное отсутствие ограничения глубины (max\_depth=None) обеспечило максимальную точность, что связано с большим объемом обучающих данных и высокой размерностью признакового пространства после TF-IDF. Для меньших датасетов или в условиях жестких ограничений по времени рекомендуется ограничивать глубину деревьев.

Для модели SVM увеличение параметра регуляризации C с 1.0 до 5.0 повышало точность на 0,3-0,5%, однако сопровождалось ростом времени обучения почти в 4 раза, что ограничивает целесообразность дальнейшего увеличения данного параметра.

Для нейросетевых моделей увеличение количества эпох обучения сверх 10 не приводило к существенному улучшению качества на валидационной выборке, а в некоторых случаях наблюдались признаки переобучения, что подтверждает адекватность выбранного количества эпох.

Сравнительный анализ показал, что среди всех протестированных моделей наилучшие результаты продемонстрировал алгоритм Random Forest с Accuracy 94,2% и F1-score 0,936 при времени обработки 74,9 мс. Он лишь незначительно уступает ансамблю моделей (F1-score 0,937), однако обеспечивает более низкую вычислительную нагрузку. Таким образом, Random Forest обеспечивает оптимальное соотношение точности и эффективности для поставленной задачи.

Для наглядной оценки качества классификации построена матрица ошибок (Confusion Matrix) для модели Random Forest, представленная на рисунке 2.



**Рис. 2 - Матрица ошибок модели Random Forest**

Визуализация выполнена для первых 15 категорий. Матрица ошибок показывает, что большинство товаров корректно классифицируются в пределах своих категорий, тогда как наибольшее количество ошибок наблюдается при распознавании схожих по семантике наименований. Полученные результаты подтверждают, что модель Random Forest обеспечивает оптимальное соотношение точности и вычислительной эффективности.

**Выводы.** В исследовании проведён сравнительный анализ алгоритмов машинного обучения, применимых для решения задачи автоматической категоризации товаров на маркетплейсах. Были протестированы как классические модели (Random Forest, SVM, Logistic Regression, Multinomial Naïve Bayes), так и нейросетевые архитектуры (RNN, CNN, Transformer), а также ансамблевый метод. Результаты экспериментов показали, что алгоритм Random Forest демонстрирует оптимальный баланс между точностью классификации (94,24%) и временем обработки (74,9 мс), превосходя по этим показателям нейросетевые модели. Ансамблевый подход обеспечил лишь незначительное улучшение точности, однако это сопровождалось увеличением времени обработки.

В качестве основного решения для реализации модуля категоризации товаров на маркетплейсе был выбран алгоритм Random Forest. Разработанный модуль предусматривает возможность переключения между различными моделями классификации, включая ансамбль, что обеспечивает гибкость настройки в зависимости от требований к точности и скорости.

Практическая значимость исследования заключается в возможности интеграции предложенного модуля в реальные платформы электронной коммерции.

Научная новизна заключается в доказательстве применимости классических алгоритмов машинного обучения (в частности, Random Forest) для задач средней сложности при ограниченных вычислительных ресурсах и в разработке комплексного подхода к выбору оптимальной модели категоризации товаров на маркетплейсе.

Перспективы дальнейших исследований включают расширение набора данных за счёт мультиязычных текстов, применение мультимодальных моделей, объединяющих текстовую и визуальную информацию, а также тестирование предложенного модуля на реальных маркетплейсах Казахстана (например, [Kaspi.kz](https://kaspi.kz/) и [Lamoda.kz](https://lamoda.kz/)).

**Литература**

1. Akritidis L., Fevgas A., Bozanis P. Effective products categorization with importance scores and morphological analysis of the titles //2018 IEEE 30th international conference on tools with artificial intelligence (ICTAI). -2018. -P. 213-220. DOI 10.1109/ICTAI.2018.00041.

2. Dai J., Wang T., Wang S. A deep forest method for classifying e-commerce products by using title information //2020 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC): Cloud Computing and Big Data. -2020. -P. 440-444. DOI [10.1109/ICNC47757.2020.9049751](https://doi.org/10.1109/ICNC47757.2020.9049751).

3. Концепция цифровой трансформации, развития отрасли информационно-коммуникационных технологий и кибербезопасности на 2023 - 2029 годы, <https://zakon.uchet.kz/rus/docs/P2300000269>. -Дата обращения: 16.03.2025.

4. Маленко К., Курманалина А. Цифровизация экономики: рынок электронной коммерции в Казахстане// Вестник НАН РК. -2024. -Т.409(3). -С. 388–405. DOI 10.32014/2024.2518-1467.775.

5. Andarova R., Nurzhan M., & Yespolova Z. E-commerce: current situation, problems and prospects of development in Kazakhstan // Buketov business review. -2022. -Vol. 106(2). -P. 197-205. DOI 10.31489/2022ec2/197-205.

6. Umaashankar V., Shanmugam S G., Prakash A. Atlas: A dataset and benchmark for e-commerce clothing product categorization//arXiv preprint arXiv:1908.08984. -2019.   
DOI 10.48550/arXiv.1908.08984.

7. Ding Y., Korotkiy M., Omelayenko B., Kartseva V., Zykov V., Klein M., Schulten E., Fensel D. Goldenbullet: Automated classification of product data in e-commerce//Business Information Systems, Proceedings of BIS 2002. -2002.

8. Kozareva, Z. Everyone likes shopping! multi-class product categorization for e-commerce //Proceedings of the 2015 Conference of the North Ameri can Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. -2015. - P.1329-1333. DOI [10.3115/v1/N15-1147](https://doi.org/10.3115/v1/N15-1147).

9. Ozyegen O., Jahanshahi H., Cevik M., Bulut B., Yigit D., Gonen F. F., Başar A. Classifying multi-level product categories using dynamic masking and transformer models//Journal of Data, Information and Management. -2022. -Vol. 4. -P. 71-85. DOI 10.1007/s42488-022-00066-6.

10. Ha J. W., Pyo H., Kim J. Large-scale item categorization in e-commerce using multiple recurrent neural networks //Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. -2016. -P. 107 - 115. DOI [10.1145/2939672.2939678](http://dx.doi.org/10.1145/2939672.2939678).

11. Cevahir A., Murakami K. Large-scale Multi-class and Hierarchical Product Categorization for an E-commerce Giant // [Proceedings of COLING 2016, the 26th International Conference on Computational Linguistics: Technical Papers](http://coling2016.anlp.jp/) -2016. -P. 525-535.

12. Drumm K. Categorising Products in an Online Marketplace: An Ensemble Approach //arXiv preprint arXiv:2304.13852. -2023. DOI [10.48550/arXiv.2304.13852](http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.2304.13852).

13. Shiokawa H., Das P., Toth A., Chiu J. Multi-output Headed Ensembles for Product Item Classification //arXiv preprint arXiv:2307.15858. -2023. DOI 10.48550/arXiv.2307.15858.

14. Zahavy T., Krishnan A., Magnani A., Mannor S. Is a Picture Worth a Thousand Words? A Deep Multi-Modal Architecture for Product Classification in E-Commerce //Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. -2018. -Vol. 32(1). -P. 7873-7880. DOI 10.1609/aaai.v32i1.11419.

15. Bi Y., Wang S., Fan Z. A multimodal late fusion model for e-commerce product classification //arXiv preprint arXiv:2008.06179. -2020. DOI 10.48550/arXiv.2008.06179.

**References**

1. Akritidis L., Fevgas A., Bozanis P. Effective products categorization with importance scores and morphological analysis of the titles //2018 IEEE 30th international conference on tools with artificial intelligence (ICTAI). -2018. -P. 213-220. DOI 10.1109/ICTAI.2018.00041.

2. Dai J., Wang T., Wang S. A deep forest method for classifying e-commerce products by using title information //2020 International Conference on Computing, Networking and Communications (ICNC): Cloud Computing and Big Data. -2020. -P. 440-444. DOI [10.1109/ICNC47757.2020.9049751](https://doi.org/10.1109/ICNC47757.2020.9049751).

3.Koncepcija cifrovoj transformacii, razvitija otrasli informacionno-kommunikacionnyh tehnologij i kiberbezopasnosti na 2023 - 2029 gody, https://zakon.uchet.kz/rus/docs/P2300000269. -Data obrashhenija: 16.03.2025.[In Russian]

4. Malenko K., Kurmanalina A. Cifrovizacija jekonomiki: rynok jelektronnoj kommercii v Kazahstane// Vestnik NAN RK. -2024. -T.409(3). -S. 388–405. DOI 10.32014/2024.2518-1467.775. [In Russian]

5. Andarova R., Nurzhan M., & Yespolova Z. E-commerce: current situation, problems and prospects of development in Kazakhstan // Buketov business review. -2022. -Vol. 106(2). -P. 197-205. DOI 10.31489/2022ec2/197-205.

6. Umaashankar V., Shanmugam S G., Prakash A. Atlas: A dataset and benchmark for e-commerce clothing product categorization//arXiv preprint arXiv:1908.08984. -2019.   
DOI 10.48550/arXiv.1908.08984.

7. Ding Y., Korotkiy M., Omelayenko B., Kartseva V., Zykov V., Klein M., Schulten E., Fensel D. Goldenbullet: Automated classification of product data in e-commerce//Business Information Systems, Proceedings of BIS 2002. -2002.

8. Kozareva, Z. Everyone likes shopping! multi-class product categorization for e-commerce //Proceedings of the 2015 Conference of the North Ameri can Chapter of the Association for Computational Linguistics: Human Language Technologies. -2015. - P.1329-1333. DOI [10.3115/v1/N15-1147](https://doi.org/10.3115/v1/N15-1147).

9. Ozyegen O., Jahanshahi H., Cevik M., Bulut B., Yigit D., Gonen F. F., Başar A. Classifying multi-level product categories using dynamic masking and transformer models//Journal of Data, Information and Management. -2022. -Vol. 4. -P. 71-85. DOI 10.1007/s42488-022-00066-6.

10. Ha J. W., Pyo H., Kim J. Large-scale item categorization in e-commerce using multiple recurrent neural networks //Proceedings of the 22nd ACM SIGKDD International Conference on Knowledge Discovery and Data Mining. -2016. -P. 107 - 115. DOI [10.1145/2939672.2939678](http://dx.doi.org/10.1145/2939672.2939678).

11. Cevahir A., Murakami K. Large-scale Multi-class and Hierarchical Product Categorization for an E-commerce Giant // [Proceedings of COLING 2016, the 26th International Conference on Computational Linguistics: Technical Papers](http://coling2016.anlp.jp/) -2016. -P. 525-535.

12. Drumm K. Categorising Products in an Online Marketplace: An Ensemble Approach //arXiv preprint arXiv:2304.13852. -2023. DOI [10.48550/arXiv.2304.13852](http://dx.doi.org/10.48550/arXiv.2304.13852).

13. Shiokawa H., Das P., Toth A., Chiu J. Multi-output Headed Ensembles for Product Item Classification //arXiv preprint arXiv:2307.15858. -2023. DOI 10.48550/arXiv.2307.15858.

14. Zahavy T., Krishnan A., Magnani A., Mannor S. Is a Picture Worth a Thousand Words? A Deep Multi-Modal Architecture for Product Classification in E-Commerce //Proceedings of the AAAI Conference on Artificial Intelligence. -2018. -Vol. 32(1). -P. 7873-7880. DOI 10.1609/aaai.v32i1.11419.

15. Bi Y., Wang S., Fan Z. A multimodal late fusion model for e-commerce product classification //arXiv preprint arXiv:2008.06179. -2020. DOI 10.48550/arXiv.2008.06179.

***Сведения об авторах***

Глазырина Н.С. ­- доктор PhD, доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, е-mail: [glazirinan@yandex.ru](mailto:glazirinan@yandex.ru);

Бирназаров Р.Р. - магистрант, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, e-mail: [ramazanbirnazarov@gmail.com](mailto:ramazanbirnazarov@gmail.com);

Есенгалиева Ж.С. - доктор PhD, доцент, Евразийский национальный университет им. Л.Н. Гумилева, Астана, Казахстан, е-mail: [jannayess@gmail.com](mailto:jannayess@gmail.com).

***Information about the authors***

Glazyrina N.S. - PhD, associate professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, е-mail: [glazirinan@yandex.ru](mailto:glazirinan@yandex.ru);

Birnazarov R.R. - master's student, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, e-mail: [ramazanbirnazarov@gmail.com](mailto:ramazanbirnazarov@gmail.com);

Yessengaliyeva Zh.S. - PhD, associate professor, L.N. Gumilyov Eurasian National University, Astana, Kazakhstan, е-mail: [jannayess@gmail.com](mailto:jannayess@gmail.com).

**МРНТИ 50.43.17;68.29.15**

**НАУЧНО-МЕТОДОЛОГИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ ЦИФРОВОЙ**

**ТРАНСФОРМАЦИИ В СИСТЕМЕ ТОЧНОГО ЗЕМЛЕДЕЛИЯ**

**1А. Алтыбаев**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0003-2737-6844)**, 1С. Жұмағали** [D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0007-5995-4377) **, 1Е. Конысбаев** [D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0009-1880-1838)**, 1Б. Бекмухамедов** [D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0001-6287-8220)**, 2К.Акишев**[D:\Desktop\иконка.png](http://orcid.org/0000-0001-5202-3501)**🖂**

*1ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Алматы, Казахстан,*

*2Казахский университет технологии и бизнеса им. К.Кулажанова, Астана, Казахстан*

**🖂**Корреспондент - автор: [akmail04cx@mail.ru](mailto:akmail04cx@mail.ru)

По данным из открытых источников за 2023год, площадь внедрения элементов точного земледелия в Казахстане, превысила 3 млн га, тем не менее возможность, оценивается более чем в 20 млн га.

В этой связи актуальность разработки научно-методических основ, обеспечивающих применение цифровых решений точного земледелия достаточно высока.

В настоящей статье представлены и обоснованы принципы функционирования автоматизированной системы дифференцированного дозирования сыпучих материалов (АСДДСП). Разработан и апробирован алгоритм расчёта управляющей информации (УИ) на входе исполнительного механизма дозатора, который служит теоретической основой программного обеспечения точности и оперативности дифференцированного внесения удобрений, позволяющий достичь повышения точности внесения удобрений до 10–15%, а также сокращение их перерасхода на 12-18% по сравнению с традиционными методами.

Теоретическая значимость исследования заключается в создании основы методически корректного математического обеспечения вычислительных экспериментов.

Практическая значимость исследований, подтверждается результатами эксплуатационно-технологических тестов на базе Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (КазНИИЗиР), показавшими достаточно высокие результаты работы АСДДСП с ростом производительности операций до 8–10%.

Научная новизна исследования заключена в методологической основе разработки алгоритма определения управляющей (командной) информации для оперативного управления исполнительным механизмом дозатора сыпучих материалов.

Полученные результаты, подтверждают высокий уровень эффективности выполнения работ мобильными агрегатами в пространственно-временных координатах, а также могут использоваться при проектировании и модернизации сельскохозяйственных агрегатов, в образовательных программах по цифровой агроинженерии.

Разработанные научно-методологические основы исследования создают предпосылки повышения эффективности, устойчивости сельского хозяйства, ресурсосбережения, а также снижения себестоимости сельскохозяйственной продукции, повышения конкурентоспособности аграрного сектора Республики Казахстан.

**Ключевые слова**: цифровая трансформация, автоматизированная система, алгоритм, управляющая информация, модель, блок схема, земледелие.

**SCIENTIFIC AND METHODOLOGICAL BASES OF DIGITAL TRANSFORMATION IN THE PRECISION AGRICULTURE SYSTEM**

**1A. Altybayev, 1C. Zhumagali, 1E. Konysbayev, 1b. Bekmukhamedov, 2K. Akishev🖂**

*1 Scientific and Production Centre for Agricultural Engineering LLP, Almaty, Kazakhstan,*

*2Kazakh University of Technology and Business named after K.Kulazhanov, Astana, Kazakhstan,*

e-mail: [akmail04cx@mail.ru](mailto:akmail04cx@mail.ru)

According to open source data for 2023, the area of introduction of precision farming elements in Kazakhstan has exceeded 3 million hectares, however, the possibility is estimated at more than 20 million hectares.

In this regard, the relevance of developing scientific and methodological foundations for the application of digital precision farming solutions is quite high.

This article presents and substantiates the principles of functioning of the automated system of differentiated dosing of bulk materials (ASDDSP). An algorithm for calculating the control information (CI) at the input of the dispenser actuator has been developed and tested, which serves as the theoretical basis for software for the accuracy and efficiency of differentiated fertilizer application, allowing for an increase in the accuracy of fertilizer application to 10-15%, as well as reducing their overspending by 12-18% compared with traditional methods.

The theoretical significance of the research lies in creating the basis for methodically correct mathematical support for computational experiments.

The practical significance of the research is confirmed by the results of operational and technological tests on the basis of the Kazakh Scientific Research Institute of Agriculture and Horticulture (KazNIIZiR), which showed fairly high results of ASDDSP with an increase in the productivity of operations up to 8-10%.

The scientific novelty of the research lies in the methodological basis for the development of an algorithm for determining the control (command) information for the operational control of the actuator of the dispenser of bulk materials.

The results obtained confirm the high level of efficiency of work performed by mobile units in space-time coordinates, and can also be used in the design and modernization of agricultural units, in educational programs on digital agroengineering.

The developed scientific and methodological foundations of the research create prerequisites for increasing the efficiency, sustainability of agriculture, resource conservation, as well as reducing the cost of agricultural products, increasing the competitiveness of the agricultural sector of the Republic of Kazakhstan.

**Keywords**: digital transformation, automated system, algorithm, control information, model, flowchart, agriculture.

**ҒЫЛЫМИ-ӘДІСТЕМЕЛІК НЕГІЗДЕРІ ДӘЛ ЕГІНШІЛІК**

**ЖҮЙЕСІНДЕГІ ӨЗГЕРІСТЕР**

**1А. Алтыбаев, 1С. Жұмағали, 1Е. Қонысбаев, 1Б. Бекмұхамедов, 2К. Акишев🖂**

***1*** *"Агроинженерия ғылыми-өндірістік орталығы" ЖШС, Алматы, Қазақстан,*

***2*** *Қазақ технология және бизнес университеті. Қ. Құлажанова, Астана, Қазақстан,*

*e-mail: akmail04cx@mail.ru*

2023 жылы ашық көздерден алынған мәліметтерге сәйкес, Қазақстанда нақты егіншілік элементтерін енгізу көлемі 3 млн гектардан асты, алайда бұл мүмкіндік 20 млн гектардан асады деп бағалануда.

Осыған байланысты дәл егіншіліктің цифрлық шешімдерін қолдануды қамтамасыз ететін ғылыми-әдістемелік негіздерді әзірлеудің өзектілігі өте жоғары.

Осы бапта Сусымалы материалдарды сараланған мөлшерлеудің автоматтандырылған жүйесінің (АСДДСП) жұмыс істеу қағидаттары ұсынылған және негізделген. Тыңайтқыштарды қолдану дәлдігін 10-15% - ға дейін арттыруға, сондай-ақ олардың артық шығынын дәстүрлі әдістермен салыстырғанда 12-18% - ға қысқартуға қол жеткізуге мүмкіндік беретін дифференциалды тыңайтқыштарды қолданудың дәлдігі мен жеделдігін бағдарламалық қамтамасыз етудің теориялық негізі ретінде қызмет ететін диспенсердің атқарушы механизмінің кірісінде басқару ақпаратын (УИ) есептеу алгоритмі әзірленді және сыналды.

Зерттеудің теориялық маңыздылығы есептеу эксперименттерін әдістемелік тұрғыдан дұрыс математикалық қамтамасыз етудің негізін құру болып табылады.

Зерттеулердің практикалық маңыздылығы операциялар өнімділігінің 8-10%-ға дейін өсуімен АСДДСП жұмысының жеткілікті жоғары нәтижелерін көрсеткен Қазақ егіншілік және Өсімдік шаруашылығы ғылыми-зерттеу институты(Қазғзии) базасындағы пайдалану-технологиялық сынақтардың нәтижелерімен расталады.

Зерттеудің ғылыми жаңалығы сусымалы материалдар диспенсерінің атқарушы механизмін жедел басқару үшін басқарушы (командалық) ақпаратты анықтау алгоритмін әзірлеудің әдіснамалық негізіне негізделген.

Алынған нәтижелер кеңістіктік-уақыттық координаттарда МБ агрегаттарының жұмыстарды орындау тиімділігінің жоғары деңгейін растайды, сондай-ақ ауыл шаруашылығы агрегаттарын жобалау және жаңғырту кезінде, цифрлық агроинженерия бойынша білім беру бағдарламаларында пайдалануға болады.

Зерттеудің әзірленген ғылыми-әдіснамалық негіздері ауыл шаруашылығының тиімділігін, орнықтылығын арттыру, ресурс үнемдеу, сондай-ақ ауыл шаруашылығы өнімінің өзіндік құнын төмендету, Қазақстан Республикасының аграрлық секторының бәсекеге қабілеттілігін арттыру үшін алғышарттар жасайды.

**Түйін сөздер**: сандық түрлендіру, автоматтандырылған жүйе, алгоритм, басқару ақпараты, моделі, блок-схемасы, егіншілік.

**Введение.** Современная парадигма инновационного развития сельскохозяйственного производства сопряжена с широким применением информационно-цифровых технологий, электроники, автоматизированных систем. Интеллектуальной основой для этого служат фундаментальные инновационные решения в других сферах и отраслях, которые также успешно используются и в сельском хозяйстве. Принято, что современная инновационная основа сельскохозяйственного производства базируется на системы точного земледелия работы [1-4]. Анализ возникновения и развития системы точного земледелия представленный в работах [5-8] позволяет сформулировать следующую ее сущность, имеющую практическое значения для реальных производственных процессов производства полевых работ: точное земледелие - это совокупность относительно самостоятельных технологий (технологии GPS и GIS, точного картографирования полей и др.), необходимость внедрения которых определяется имеющимися ресурсами конкретного производства, а также научно-техническим потенциалом на данном этапе производственных отношений. В то же время, следует понять, что по существу принципы точного земледелия в большей степени направлены на совершенствование процессов управления на всех уровнях производства полевых механизированных работ в сельском хозяйстве. При этом сами производственно-технологические, т.е. рабочие процессы, во многом не претерпевают изменений принципиального порядка. Из обзора и анализа работ отечественных и зарубежных авторов представленных в публикациях [9,10] следует, что исследования, направленные на внедрение цифровых технологий в реальные процессы производства полевых работ, ведутся фрагментарно, исходя из частных физических эффектов, ориентируясь на промежуточные результаты, не связанные требованиями оптимальности функционирования технологических систем в целом. В основном преобладают конструктивно-технические решения, а вопросы оперативного управления технологическими процессами в течение рабочей смены не доведены до эксплуатационного статуса.

В этой связи наибольшую актуальность приобретают вопросы, касающиеся оперативного управления состоянием технологической работоспособности рабочих органов и исполнительных механизмов рабочих машин мобильных агрегатов сельскохозяйственного назначения обеспечивающих возможности для точного земледелия.

Цель исследования – установить влияние внутренних и внешних факторов технологической системы внесения минеральных удобрений на величину управляющей информации работой исполнительного механизма дозирующего устройства машинно-тракторного агрегата.

Объектом исследования являются процессы взаимодействия конструктивных параметров посевных агрегатов и технологических режимов их работы с эксплуатационно-технологическими показателями выполнения работы.

Новизна исследования заключена в методологической основе разработки алгоритма определения управляющей (командной) информации для оперативного управления исполнительным механизмом дозатора сыпучих материалов.

Практическая значимость исследования связана тем, что результаты служат методико-аналитическим инструментарием для инженерных расчетов при проектировании технологических операций (процессов) производства полевых механизированных в условиях глобальной цифровой трансформации отраслей сельского хозяйства.

**Материалы и методы.** Методологической основой исследования является комплекс современных научных подходов и инструментов, принципы системного подхода и аппарат системного анализа-это позволило рассматривать процессы цифровой трансформации в сельском хозяйстве, как взаимосвязь технических, технологических и организационных компонентов.

При этом обеспечивалась интеграция цифровых решений с агротехническими требованиями и нормативами.

В исследовании использовались методы теоретической и прикладной информатики, в виде алгоритмов и моделей, методы статистического анализа больших массивов данных, позволившее выявить закономерности изменения параметров технологических процессов.

Динамическое моделирование выполнялось с использованием инструментов имитационного моделирования, с реальными сценариями функционирования систем дифференцированного внесения удобрений.

В качестве исходных материалов, использованы информационные ресурсы, инженерно-технологического обеспечения сельскохозяйственного производства, базы данных состава почв, справочные нормативы и технические характеристики агромашин.

Представленные данные обеспечили проектирование, верификацию, а также экспериментальную апробацию технологических операций по внесению удобрений.

**Обсуждение и результаты.** В системе точного земледелия дифференцированное внесение удобрений осуществляется двумя основными способами: внесение в режиме on-line (режим реального времени) и внесение в режиме off-line (с предварительно подготовленной картой поля).

Первый вариант (on-line) подразумевает выполнение расчетов непосредственно в процессе внесения удобрений. Для этого используются датчики-спектрометры, установленные на беспилотник или трактор.

Второй способ (off-line) предполагает заблаговременный расчет норм внесения удобрений по каждой выделенной на поле зоне, техника работает в запрограммированном режиме. С позиции проектирования автоматизированной системы управления технологическими процессами off-line режим относится к автоматизированной системе без обратной связи.

Обобщенная картина цифровой трансформации производства полевых механизированных работ в растениеводстве в рамках концепции точного земледелия, применительно к мобильным агрегатам дифференцированного внесения удобрений, представлена на рис.1, на котором представлены 2 группы моделей - функциональную и процедурную.

Функциональная модель, отражает физическое содержание архитектуры автоматизированной системы управления технологическими процессами, включает в себе все физические объекты, которые непосредственно участвуют в сфере управления, взаимосвязанная совокупность которых составляет данную техническую систему, целевое предназначение которой направлено на реализацию дифференцированного внесения удобрений в соответствии с требованиями агротехнологий.

К ним относятся: программно-аппаратным комплекс (ПАК), мобильный агрегат (серийно выпускаемый промышленностью) для внесения удобрений, оборудование для реализации автоматизированного управления исполнительными механизмами дозированной подачи удобрений агрегатом в условиях оперативного времени выполнения технологической операции внесения удобрений.

Процедурные модели описывают операционные характеристики системы, т.е. описывают порядок действий по управлению работой технологической операции в целом. При автоматизации производства особый интерес представляют информационные процедурные модели, а также модели режимов и обеспечения безопасности работы.

Работа процедурной модели автоматизированной системы дифференцированного внесения удобрений (АСДВУ) начинается с загрузки координатно-привязанного космического снимка требуемой территории с использованием программы (например, SASPlanet).

Следующий шаг, создание карты-задания.

Карта-задание создается на основе точек замера проб агрохимического состояния почвы, методами аппроксимации (Делоне, Вороного и др.) и созданием изолиний – границ доз внесения удобрений.

Блок-схема создания карты-задания, представляет собой относительно самостоятельную процедуру (В).

Далее формируется карта (блок-схема Б) с векторным слоем геометрических размеров поля с учетом неоднородностей, учитываются рельефные особенности, водные и лесные объекты.

Данная карта может быть получена полуавтоматически путем классификации поля с присутствующими неоднородностями, или же может быть создана вручную с использованием разработанного графического редактора.

Разработанный программный модуль, автоматически создает векторную карту движения агрегата с учетом ширины сеялки и радиусов разворота агрегата.

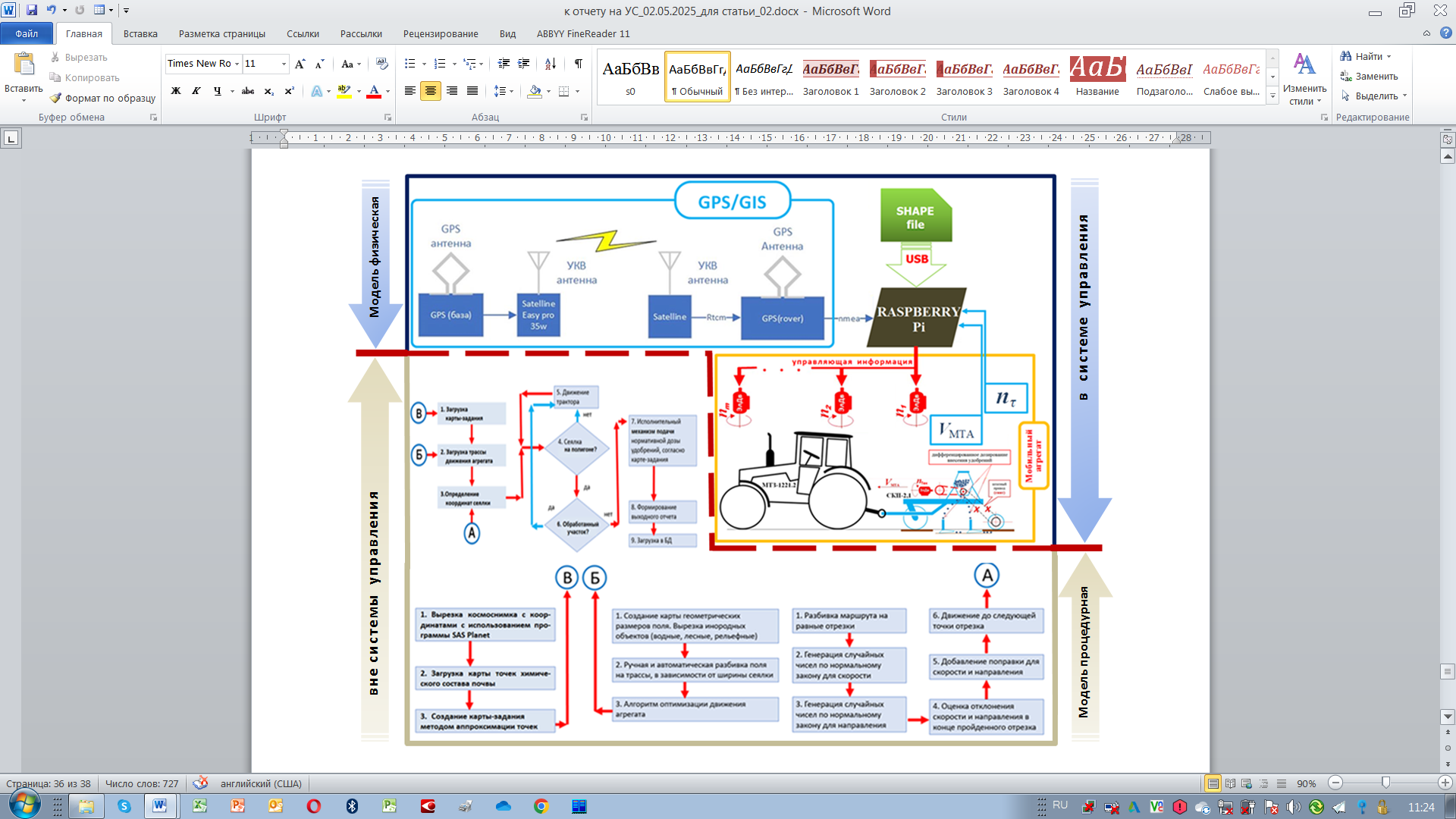
Программный модуль, также имеет возможность оптимизировать трассы движения агрегата, как внутри поля (для сокращения трасс холостых проходов), так и во время движения к полю.

Процедуры 4, 5, 6 оценивают координаты агрегата относительно координат поля, требующего внесение удобрений. Если агрегат попадает на территорию поля, где есть необходимость внесения удобрения, то посылается сигнал сеялке – вносить удобрения с дозой, согласно карте-заданию.

Процедура 7 обеспечивает реализацию исполнительным органом управляющей информации «внести удобрения» согласно карте-заданию.

Процедуры 8, 9 реализуют формирование выходного отчета о внесении удобрений, и результаты записываются в БД.

Для проектирования автоматизированной системы оперативного управления исполнительными механизмами без обратной связи [11 - 13] наибольший интерес представляет установление функциональной связи выходных переменных с входными переменными, которые формируют командную информацию, обеспечивающую точность и своевременность выполнения технологической операции. При этом необходимо сформулировать математическую модель физического процесса.



**Рис. 1 - Обобщенная картина цифровой трансформации**

Для установления аналитических выражений элементов функционирования технологической системы внесения (посева) воспользуемся абстрактным представлением высевающего механизма (дозатора) и схемой механизированного (машинного) выполнения данной технологической операции (рис.2).

При этом искомую модель можно сформулировать исходя из геометрических соотношений, первичных физических величин.

За один оборот вала высевающего аппарата объем дозирования определяется исходя из конструктивно-технических параметров высевающего механизма, т.е. дозатора (рис.2 *б*) формула 1:

*м3/об* (1)

где - объем дозирующего элемента, *м3*; – количество дозирующих элементов на валу высевающего аппарата.

Объем дозирующего элемента () определяют исходя из конструктивной особенности высевающего аппарата, как объем трехмерного тела, т.е., формула 2:

*см3* (2)

где - площадь поперечного сечения дозирующего элемента;

- длина дозирующего элемента.

При этом масса дозируемого материала составляет, формула 3:

,*кг/об* (3)

где - удельная объемная масса сыпучего материала.

Технологическая длина пути прямолинейного движения данного агрегата для выполнения работы на 1га площади составляет, формула 4:

,*м* (4)

где- рабочая ширина технологической (рабочей) машины

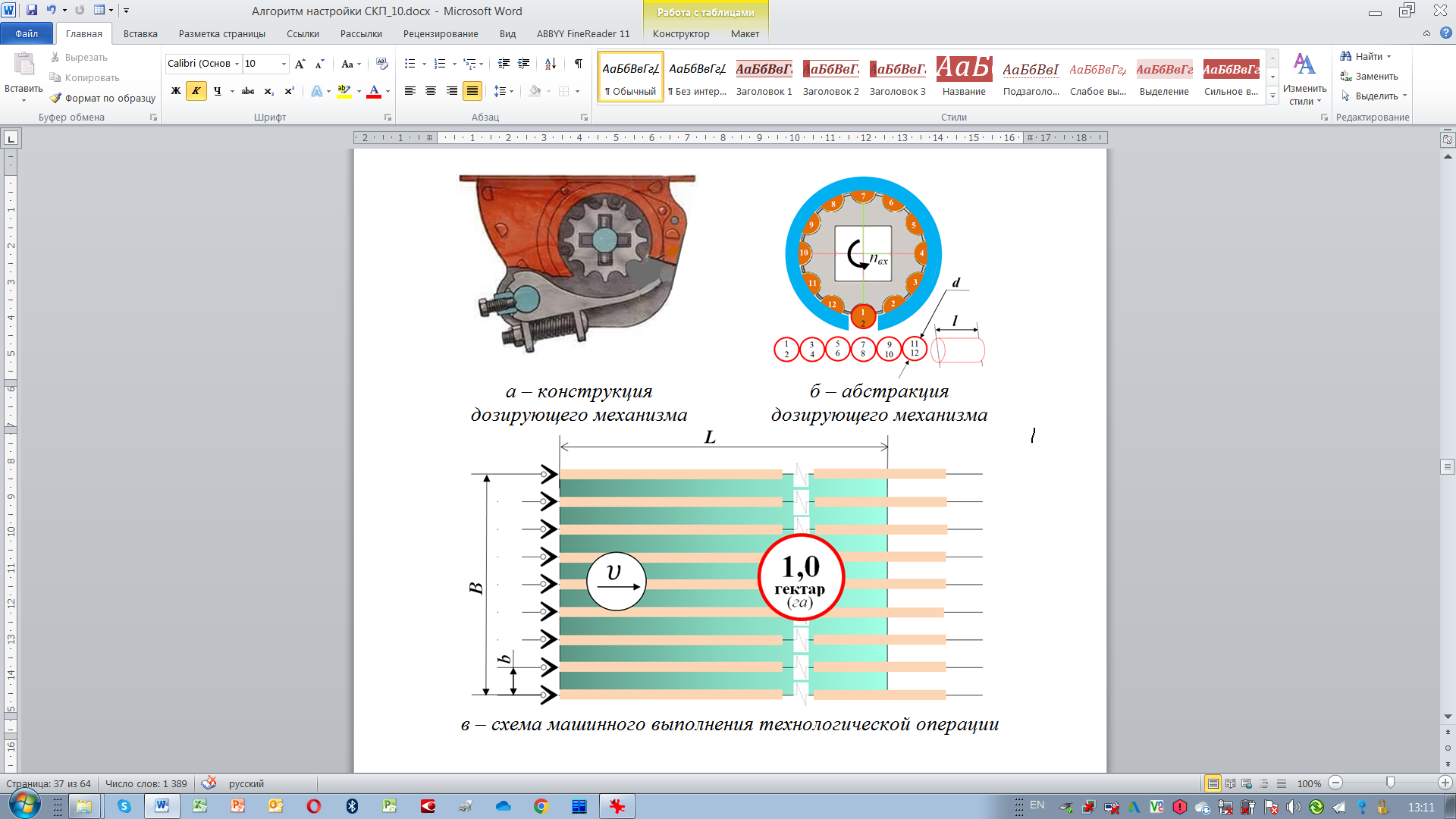


Рисунок 2 – Определение управляющего параметра дозирующего механизма

Технологическое время при заданной скорости агрегата в соответствии с агротехническими требованиями формула 5:

,*мин* (5)

- рабочая (рекомендуемая) скорость движения агрегата при выполнении технологической операции, м/мин.

Технологически необходимое количество оборотов вала высевающего аппарата для высева нормативного объема (массы) удобрений на единицу площади, формула 6:

,*об*. (6)

– масса назначенной нормы высева; - число рабочих органов посевного агрегата.

Число оборотов на входе дозирующего механизма, формула 7:

**,*об/мин* (7)

или с учетом (1) - (6), после несложных преобразований, получим, формула 8:

 , *об/мин* (8)

где - совокупность поправочных коэффициентов, учитывающих размерность составляющих элементов

Таким образом, формула (8) является математическим выражением зависимости управляющей (командной) информации от конструктивно-технических параметров применяемого средства механизации, технологических режимов выполнения работы, физико-технических характеристик сыпучих материалов, конкретное назначение которой регулируются ПАК с использованием карты-задания о реальных потребностях в пространственно-временных координатах. Таблица исходных данных представлена в табл.1.

**Таблица 1 - Исходные данные для автоматизированных расчетов**

|  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- |
| **Параметр** | **Обозн.** | **Ед.**  **изм.** | **Зна-чение\*** | **Примечание** |
| Диаметр дозирующего элемента | ***d*** | см | 1,2 | Конструктивный параметр |
| Длина дозирующего элемента | ***l*** | см | 3,8 | Конструктивный параметр |
| Ширина захвата агрегата | ***B*** | м | 1,824 | Технический параметр |
| Ширина междурядий | ***b*** | см | 22,8 | Технический параметр |
| Длина пути агрегата | ***L*** | м | 5482,5 | Расчетный параметр |
| Скорость передвижения агрегата |  | км/час | 7,0 | Технологический параметр |
| Объемный вес сыпучего вещества |  | кг/м3 | 810,0 | Справочный параметр |
| Норма внесения (высева) |  | кг/га | 50,0 | Технологический параметр |
| Число дозирующих элементов | ***z*** | ед. | 12 | Технический параметр |
| Число рабочих органов | ***i*** | ед. | 9 | Технологический параметр |
| *\*условные значения для вычислительных экспериментов на базе сеялки СКС-2,1* | | | | |

На рис. 3, приведены результаты численных экспериментов в табличной среде Excelпо исследованию дифференциальных закономерностей изменения управляющей информации () от отдельных входных факторов.

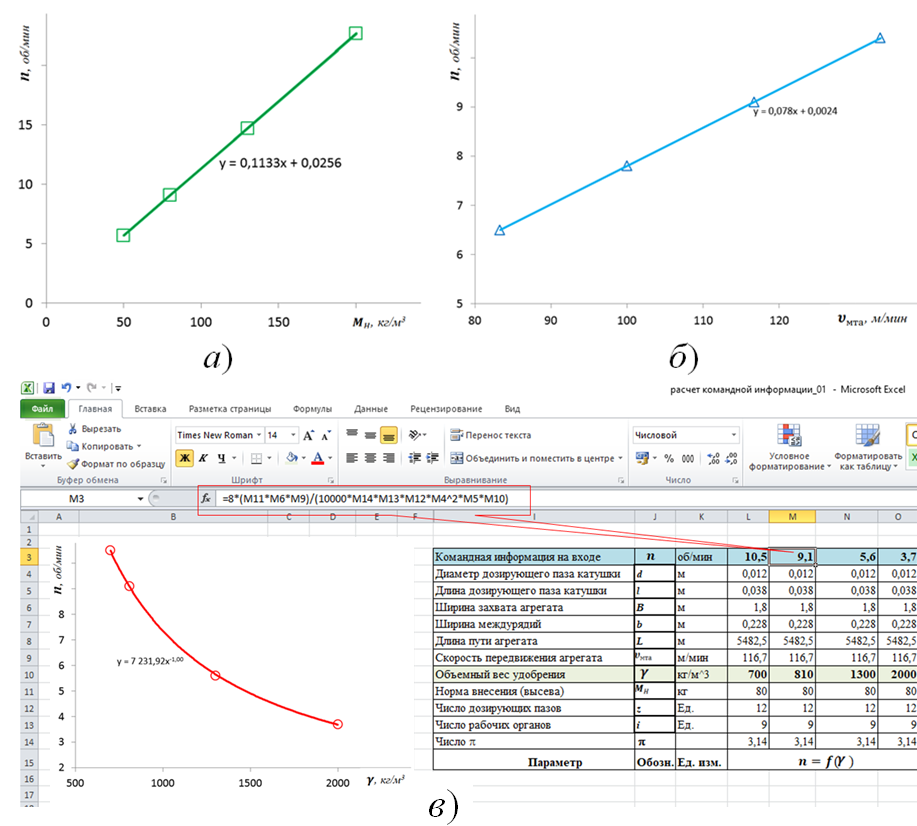
Из анализа результатов вычислительных экспериментов следует, что увеличение нормы внесения удобрений (рис. 3*а*) и скорости прямолинейного движения агрегата (рис. 3*б*) сопровождается пропорциональным ростом величины управляющего параметра, т.е. числа оборотов () на входе вала высевающего аппарата. При этом интенсивность роста числа оборотов выше в зависимости от увеличения значений нормы внесения удобрений. Изменение удельного веса (рис. 3*в*) применяемого удобрения вносит изменения управляющей информации в обратной пропорциональности. Здесь же представлена экранная форма листинга.

Для инженерных расчетов с учетом фактических характеристик приводного механизма следует ввести в формулу (8) коэффициент, учитывающий передаточное число привода. Тогда формула имеет следующий вид, формула 9:

(9)



где - передаточное число привода.



**Рис. 3 - Результаты компьютерных экспериментов**

Эксплуатационно-технологическое тестирование работоспособности экспериментального образца [14,15], проведенное на опытном поле Казахского научно-исследовательского института земледелия и растениеводства (КазНИИЗиР) при внесении минеральных удобрений, показало функциональной работоспособности автоматизированной системы в целом и подтвердило корректность принятых методологических предпосылок.

**Выводы.** Результаты исследования показали:

- цифровая трансформация производственно-технологических процессов сельского хозяйства (ПТПСХ), представляет собой комплексную систему, которая включает, материальные элементы (машины, агрегаты, сенсоры, исполнительные механизмы) и нематериальные компоненты (программные алгоритмы, цифровые модели, базы данных);

- такая интеграция, обеспечивает повышение эффективности производства, полевых работ, мобильными агрегатами в пространственно-временных координатах, а также способствует достижению ресурсосбережения, снижению себестоимости, росту производительности на 8–10% по результатам экспериментальных испытаний;

- разработанные функциональные и процедурные модели процессов, в сфере управления и программного обеспечения для описания последовательности операций, алгоритмы принятия решений, управляющие воздействия, являются основой для автоматизации технологических процессов внесения удобрений;

- разработанный алгоритм расчёта управляющей информации на входе дозирующего механизма, обеспечивает повышение точности дозирования на 10-15%, сокращает перерасход удобрений на 12-18% по сравнению с традиционными методами.

- результаты проектно-исследовательских изысканий в области создания программно-аппаратных комплексов для системы точного земледелия, в сфере управления и сфере программного обеспечения, дают возможность дальнейшего практического и теоретического использования, как в агропромышленном комплексе, так и в образовательных программах цифровой агроинженерии.

***Финансирование.*** *Материалы подготовлены в рамках* ***ИРН BR23992516*** *«Разработка и совершенствование технических средств и технологического оборудования, обеспечивающих реализацию научно-обоснованных технологий производства продукции растениеводства»*

**Литература**

1. Prins R. Making Precision Agriculture Work In Australia// Global Tech Insight To Drive Agribusiness. -2017. URL: http:precisionag.com/ag-tech-global/making-precision-agricultu-re-work-in-australia. - Дата обращения:10.08.2025.
2. В Казахстане идет цифровая трансформация агрокомплекса. -2020. URL: https://profit.kz. - Дата обращения:15.09.2025.
3. MacPherson J., Voglhuber-Slavinsky A., Olbrisch M., Schöbel P., Dönitz E., Mouratiadou I., Helming K. Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review// Agronomy for Sustainable Development. -2022. -Vol.42(4): 70. DOI [10.1007/s13593-022-00792-6](https://doi.org/10.1007/s13593-022-00792-6)
4. McFadden J., Casalini F., Griffin T., Antón J. The digitalisation of agriculture// OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers. -2022. -No. 176. DOI [10.1787/285cc27d-en](https://doi.org/10.1787/285cc27d-en).
5. Celms А., et al. Global navigation satellite system as technical solution element of farm-land processing in Latvia// Engineering for Rural Development. -2015. -Vol.13. -P.44-50.
6. Say S.M., et al. Adoption of precision agriculture technologies in developed and developing countries//The Online Journal of Science and Technology. -2018. - Vol. 8(1). -P.7-15.
7. Якушев В.В. Информационно-технологические основы прецизионного производства растениеводческой продукции// Aвтореферат дис.. на док. сельскохоз. наук: 06.01.03. -С.-Петербург. -2013. -32c.
8. Асташова Е.А., Кузнецова Н.А.,Зинич Л.В. Модель цифровой трансформации преприятий АПК//Вопросы инновационной экономики. -2022. -Т.12 (4). -С. 2341-2356. DOI 10.18334/vinec.12.4.116890.
9. Балабанов В., Беленков А.И., Березовский Е.В. и др. Навигационные технологии в сельском хозяйстве. Координатное земледелие. Учебное пособие / Издательство российский государственный аграрный университет-МСХА имени К.А. Тимирязева. - 2013. -117 с.
10. Монастырский В. А., Бабичев А.Н., Ольгаренко В.И. Алгоритм расчета доз внесения удобрений в прецизионном земледелии // Научный журнал Российского НИИ проблем мелиорации. -2019. -№ 1(33). -С.-26–38. DOI 10.31774/2222-1816-2019-1-26-38.
11. Шеуджен А.Х., Громова Л.И., Онищенко Л.М. Методы расчета доз удобрений: учеб.пособие / Кубан. гос. агр. ун-т. – Краснодар, 2010. – 61 с.
12. Буткевич Р.В., Клочков Ю.С., Яницкая Т.С., Ярыгин С.А. Методические основы количественного оценивания технологических процеcсов // Известия Самарского научного центра РАН. -2005. -T. 7 (2). -С. 456–463.
13. ГОСТ 24055-2016. Межгосударственный стандарт. Техника сельскохозяйственная Методы эксплуатационно-технологической оценки. -2018. -23с.
14. ГОСТ 28714-2007. Межгосударственный стандарт. Машины для внесения твердых минеральных удобрений. Методы испытаний.-2007. -44с.
15. Алтыбаев А.Н., Рзалиев А.С. и др. Цифровая трансформация системы управления процессами подпочвенного внесения удобрений//Научно-информационное обеспечение инно-вационного развития АПК: материалы XVI Междунар. науч.-практ. Интернет-конф. «ИнформАгро-2024». -2024. -805 с.

URL: <https://rosinformagrotech.ru/images/aspirantura/obrazproc/_конференции_8eef4.pdf.->Дата обращения: 10.08.2025.

**References**

1. Prins R. Making Precision Agriculture Work In Australia// Global Tech Insight To Drive Agribusiness. -2017. URL: http:precisionag.com/ag-tech-global/making-precision-agricultu-re-work-in-australia. - Date of access:10.08.2025.

2.V Kazahstane idet cifrovaja transformacija agrokompleksa. -2020. URL: https://profit.kz. - Data obrashhenija:15.09.2025. [in Russian]

3. MacPherson J., Voglhuber-Slavinsky A., Olbrisch M., Schöbel P., Dönitz E., Mouratiadou I., Helming K. Future agricultural systems and the role of digitalization for achieving sustainability goals. A review// Agronomy for Sustainable Development. -2022. -Vol.42(4): 70. DOI [10.1007/s13593-022-00792-6](https://doi.org/10.1007/s13593-022-00792-6)

4.McFadden J., Casalini F., Griffin T., Antón J. The digitalisation of agriculture// OECD Food, Agriculture and Fisheries Papers. -2022. -No. 176. DOI [10.1787/285cc27d-en](https://doi.org/10.1787/285cc27d-en).

5. Celms А., et al. Global navigation satellite system as technical solution element of farm-land processing in Latvia// Engineering for Rural Development. -2015. -Vol.13. -P.44-50.

6. Say S.M., et al. Adoption of precision agriculture technologies in developed and developing countries//The Online Journal of Science and Technology. -2018. - Vol. 8(1). -P.7-15.

7. Jakushev V.V. Informacionno-tehnologicheskie osnovy precizionnogo proizvodstva rastenievodcheskoj produkcii// Avtoreferat dis.. na dok. sel'skohoz. nauk: 06.01.03. -S.-Peterburg. -2013. -32c. [in Russian]

8. Astashova E.A., Kuznecova N.A.,Zinich L.V. Model' cifrovoj transformacii preprijatij APK//Voprosy innovacionnoj jekonomiki.-2022.-T.12(4).-S.2341-2356. DOI 10.18334/vinec.12.4.116890. [in Russian]

9. Balabanov V., Belenkov A.I., Berezovskij E.V. i dr. Navigacionnye tehnologii v sel'skom hozjajstve. Koordinatnoe zemledelie. Uchebnoe posobie / Izdatel'stvo rossijskij gosudarstvennyj agrarnyj universitet-MSHA imeni K.A. Timirjazeva. - 2013. -117 s. [in Russian]

10. Monastyrskij V. A., Babichev A.N., Ol'garenko V.I. Algoritm rascheta doz vnesenija udobrenij v precizionnom zemledelii // Nauchnyj zhurnal Rossijskogo NII problem melioracii. -2019. -№ 1(33). -S.-26-38. DOI 10.31774/2222-1816-2019-1-26-38. [in Russian]

11. Sheudzhen A.H., Gromova L.I., Onishhenko L.M. Metody rascheta doz udobrenij: ucheb.posobie / Kuban. gos. agr. un-t. -Krasnodar, 2010. - 61 s. [in Russian]

12. Butkevich R.V., Klochkov Ju.S., Janickaja T.S., Jarygin S.A. Metodicheskie osnovy kolichestvennogo ocenivanija tehnologicheskih procecsov // Izvestija Samarskogo nauchnogo centra RAN. -2005. -T. 7 (2). -S. 456-463. [in Russian]

13. GOST 24055-2016. Mezhgosudarstvennyj standart. Tehnika sel'skohozjajstvennaja Metody jekspluatacionno-tehnologicheskoj ocenki. -2018. -23s. [in Russian]

14. GOST 28714-2007. Mezhgosudarstvennyj standart. Mashiny dlja vnesenija tverdyh mineral'nyh udobrenij. Metody ispytanij.-2007. -44s. [in Russian]

15. Altybaev A.N., Rzaliev A.S. i dr. Cifrovaja transformacija sistemy upravlenija processami podpochvennogo vnesenija udobrenij//Nauchno-informacionnoe obespechenie inno-vacionnogo razvitija APK: materialy XVI Mezhdunar. nauch.-prakt. Internet-konf. «InformAgro-2024». -2024. -805 s. URL:

<https://rosinformagrotech.ru/images/aspirantura/obrazproc/_конференции_8eef4.pdf.-> Date of access: 10.08.2025. [in Russian]

***Информация об авторах***

Алтыбаев А.Н. - доктор ттехнических наук, ассоциированный профессор (доцент), ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Алматы, Казахстан, e-mail: [narikovich@yandex.ru](mailto:narikovich@yandex.ru);

Жұмағали С. Ж. - магистр технических наук, ТОО «Научно-производственный центр агроинженерии», Алматы, Казахстан, e-mail:Sabr.hz@mail.ru;

Конысбаев Е.К.- инженер-механик, ТОО **«**Научно-производственный центр агроинженерии», Алматы,

Казахстан, e-mail:[erkegali@mail.ru](mailto:erkegali@mail.ru);

Бекмухамедов Б. Э. - кандидат технических наук, ведущий научный сотрудник,ТОО **«**Научно-производственный центр агроинженерии», Алматы, Казахстан, e-mail:baur\_gis@mail.ru;

Акишев К.М.- кандидат технических наук, ассоциированный профессор (доцент), Казахский университет технологии и бизнеса им. К. Кулажанова, Астана, Казахстан, e-mail: akmail04cx@mail.ru.

***Information about the authors***

Altybaev A.N.- Doctor of Technical Sciences, associate professor, Scientific and Production Center of Agroengineering LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: narikovich@yandex.ru;

Jumagali S. Zh.- Master of Technical Sciences, Senior Engineer, Scientific and Production Center of Agroengineering LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: Sabr.hz@mail.ru;

Konysbaev E.K.- Mechanical engineer, Scientific and Production Center of Agroengineering LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: erkegali@mail.ru;

Bekmukhamedov B.E.- Candidate of Technical Sciences, leading researcher, Scientific and Production Center of Agroengineering LLP, Almaty, Kazakhstan, e-mail: baur\_gis@mail.ru;

Akishev K.M. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor (docent), K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Republic of Kazakhstan, e-mail: akmail04cx@mail.ru.

IRSTI 20.23.15

**BUILDING A HIGH-QUALITY ANNOTATED CORPUS FOR KAZAKH NLP: A PIPELINE APPROACH**

**A.K.Aitim[](https://orcid.org/0000-0003-2982-214X)**

*International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan*

Сorresponding author: [a.aitim@iitu.edu.kz](mailto:a.aitim@iitu.edu.kz)

The paper presents a pipeline for building a high-quality, multi-layer annotated corpus for Kazakh NLP. The pipeline integrates large-scale web crawling, aggressive text cleaning, transformer-based pre-annotation, linguist-in-the-loop validation, and quality assurance via inter-annotator agreement (IAA). The final release contains 20,000 documents, 350,000 sentences, and 6.2 million tokens spanning 5 domains (news, politics, science, education, culture), annotated with POS, morphology, NER, and UD dependencies. The report IAA per layer and baseline model performance (POS, NER, parsing) to demonstrate utility.

The study releases the corpus, code, and guidelines to support reproducible research. The proposed methodology includes the complete workflow from data acquisition through targeted web crawling of prominent Kazakh-language news outlets, to text cleaning, automated pre-annotation utilizing transformer-based language models, and manual validation via a custom-designed annotation interface. Particular emphasis is placed on the agglutinative characteristics of Kazakh and its extensive morphological variants, which present distinct challenges in annotation and model training. The generated corpus comprises comprehensive annotations for part-of-speech (POS), named entity recognition (NER), morphological characteristics, and syntactic dependencies, establishing a fundamental dataset for several downstream NLP applications.

The research additionally examines significant obstacles in the annotation process, including maintaining consistency, assessing inter-annotator agreement, and evaluating the adaptability and functionality of the annotation tools. Baseline NLP models were employed and evaluated to determine the quality and utility of the corpus. This work provides a reproducible and flexible methodology for constructing corpora in low-resource and morphologically complex languages. Its objective is to promote additional study, tool creation, and technological progress in Kazakh language processing, hence advancing the overarching purpose of multilingual NLP inclusion.

**Keywords**: kazakh language, annotated corpus, natural language processing, agglutinative languages, data pipeline, morphological analysis, low-resource language.

**ҚАЗАҚША NLP ҮШІН ЖОҒАРЫ САПАЛЫ АННОТАЦИЯЛЫҚ КОРПУС ҚҰРУ: ҚҰБЫРЛЫҚ ТӘСІЛ**

**Ә.Қ.Әйтім**

*Халықаралық Ақпараттық Технологиялар Университеті, Алматы, Қазақстан,*

e-mail: [a.aitim@iitu.edu.kz](mailto:a.aitim@iitu.edu.kz)

Бұл мақалада Қазақ NLP үшін жоғары сапалы, көп қабатты аннотацияланған корпусты құруға арналған құбыр ұсынылған. Құбыр кең ауқымды веб-шолғышты, агрессивті мәтінді тазалауды, трансформаторға негізделген алдын ала аннотацияны, лингвист-циклді тексеруді және аннотатор аралық келісім (IAA) арқылы сапаны қамтамасыз етуді біріктіреді. Соңғы шығарылым 5 доменді (жаңалықтар, саясат, ғылым, білім, мәдениет) қамтитын 20 000 құжатты, 350 000 сөйлемді және POS, морфология, NER және UD тәуелділіктерімен түсіндірілетін 6,2 миллион таңбалауышты қамтиды. Пайдалылықты көрсету үшін әр қабатқа IAA және негізгі үлгі өнімділігі (POS, NER, талдау) туралы есеп береміз.

Зерттеу қайталанатын зерттеулерді қолдау үшін корпусты, кодты және нұсқауларды шығарады. Ұсынылып отырған әдістеме қазақ тіліндегі көрнекті жаңалықтар агенттіктерін мақсатты веб-шолпинг арқылы деректерді жинаудан бастап, мәтінді тазалауға, трансформаторға негізделген тіл үлгілерін пайдалана отырып, автоматтандырылған алдын ала аннотацияға және тапсырыс бойынша әзірленген аннотация интерфейсі арқылы қолмен тексеруге дейінгі толық жұмыс процесін қамтиды. Қазақ тілінің агглютинативті сипаттамаларына және оның экстенсивті морфологиялық нұсқаларына ерекше назар аударылады, олар аннотация мен модельді оқытуда ерекше қиындықтар туғызады. Жасалған корпус бірнеше төменгі ағындық NLP қолданбалары үшін іргелі деректер жиынтығын құра отырып, сөз бөлігі (POS), аталған нысанды тану (NER), морфологиялық сипаттамалар және синтаксистік тәуелділіктер үшін жан-жақты аннотациялардан тұрады.

Зерттеу қосымша аннотация процесіндегі маңызды кедергілерді, соның ішінде жүйелілікті сақтауды, аннотатор аралық келісімді бағалауды және аннотация құралдарының бейімделуін және функционалдығын бағалауды қарастырады. Корпустың сапасы мен пайдалылығын анықтау үшін негізгі TTӨ үлгілері қолданылды және бағаланды. Бұл жұмыс ресурсы аз және морфологиялық күрделі тілдерде корпустарды құрудың қайталанатын және икемді әдіснамасын ұсынады. Оның мақсаты – қазақ тілін өңдеуде қосымша оқуға, құрал жасауға және технологиялық прогреске жәрдемдесу, осылайша көптілді TTӨ енгізудің негізгі мақсатын алға жылжыту.

**Түйін сөздер:** қазақ тілі, аннотацияланған корпус, табиғи тілді өңдеу, агглютинативті тілдер, деректер құбыры, морфологиялық талдау, ресурсы аз тіл.

**ПОСТРОЕНИЕ ВЫСОКОКАЧЕСТВЕННОГО АННОТИРОВАННОГО КОРПУСА ДЛЯ КАЗАХСКОГО NLP: ПАЙПЛАЙН-ПОДХОД**

**A.K.Айтим**

*Международный Университет Информационных Технологий, Алматы, Казакстан,*

e-mail: [a.aitim@iitu.edu.kz](mailto:a.aitim@iitu.edu.kz)

В статье представлен конвейер для создания высококачественного многослойного аннотированного корпуса для казахского естественного языка (NLP). Конвейер объединяет масштабное веб-сканирование, агрессивную очистку текста, предварительную аннотацию на основе преобразователя, валидацию с участием лингвиста и контроль качества посредством межаннотационного соглашения (IAA). Финальный релиз содержит более 20 000 документов, около 350 000 предложений и около 6,2 млн токенов, охватывающих 5 доменов (новости, политика, наука, образование, культура), аннотированных с помощью зависимостей POS, морфологии, NER и UD. Мы приводим данные IAA по каждому слою и базовую производительность модели (POS, NER, парсинг) для демонстрации её полезности.

В исследовании публикуются корпус, код и рекомендации для поддержки воспроизводимых исследований. Предлагаемая методология включает в себя полный рабочий процесс от сбора данных посредством целевого веб-сканирования известных новостных агентств на казахском языке до очистки текста, автоматизированного предварительного аннотирования с использованием языковых моделей на основе трансформатора и ручной проверки с помощью специально разработанного интерфейса аннотирования. Особое внимание уделяется агглютинативным характеристикам казахского языка и его обширным морфологическим вариантам, которые представляют особые проблемы при аннотировании и обучении моделей. Сгенерированный корпус включает в себя комплексные аннотации для частей речи (POS), распознавания именованных сущностей (NER), морфологических характеристик и синтаксических зависимостей, создавая фундаментальный набор данных для нескольких последующих приложений NLP.

Исследование дополнительно изучает существенные препятствия в процессе аннотирования, включая поддержание согласованности, оценку межаннотаторского соглашения и оценку адаптивности и функциональности инструментов аннотирования. Базовые модели NLP использовались и оценивались для определения качества и полезности корпуса. Эта работа предоставляет воспроизводимую и гибкую методологию для построения корпусов на языках с низкими ресурсами и морфологически сложными языками. Ее цель - способствовать дополнительному изучению, созданию инструментов и технологическому прогрессу в обработке казахского языка, тем самым продвигая всеобъемлющую цель включения многоязычного NLP.

**Ключевые слова:** казахский язык, аннотированный корпус, обработка естественного языка, агглютинативные языки, конвейер данных, морфологический анализ, язык с низкими ресурсами.

**Introduction.** Due to enormous, annotated datasets and the development of strong machine learning models, Natural Language Processing (NLP) has witnessed incredible improvement recently. For high-resource languages as English, Chinese, and German, these developments have produced significant breakthroughs. Low-resource languages like Kazakh still have big issues, though, because there aren't enough well-structured linguistic samples. Because the Kazakh language is morphologically rich and agglutinative, data collecting, annotation, and processing become more challenging and demand for certain language-specific solutions.

In line with the Digital Kazakhstan Strategy and the country’s National Artificial Intelligence priorities, this study contributes to the national agenda of developing digital linguistic resources and AI-driven language technologies for the Kazakh language. The creation of high-quality annotated corpora is a key step toward enabling intelligent applications in education, governance, and communication, as emphasized in Kazakhstan’s strategic programs for digital transformation. By aligning with these initiatives, our proposed pipeline supports the localization of AI technologies and the integration of Kazakh into global NLP ecosystems.

Robust NLP for Kazakh remains challenging due to data scarcity and agglutinative morphology. Existing resources cover isolated layers and are limited in size or domain. The aim to deliver a multi-layer Kazakh corpus with transparent, reproducible construction and documented quality. Contributions are scalable pipeline that couples transformer pre-annotation with linguist adjudication tailored to agglutinative morphology. A multi-layer corpus (POS, morphology, NER, UD dependencies) spanning 5 domains, with public code/data formats (CoNLL-U + JSON). Quality & utility evidence: layer-wise IAA and baseline models (BiLSTM-CRF, KazBERT, UD parser) with open evaluation scripts.

Making reliable NLP systems like part-of- speech (POS) taggers, named entity recognizers (NER), dependency parsers, and morphological analyzers depends critically on high-quality annotated corpora. For Kazakh, however, the resources at hand are either not publicly accessible, not varied enough in terms of language, or too few overall. Furthermore, less efficient at later tasks are general-purpose tools and models since they usually do not fit the particular syntactic and morphological patterns of Kazakh. In this work, to show a whole pipeline approach for producing a high-quality annotated corpus for Kazakh NLP. From gathering data from the web and language-filtering it, to normalizing the text and automatically pre-annotating it is using the most recent transformer models, the proposed pipeline covers every stage of creating a corpus. It also features a custom-built UI for manually hand-checking items and enhancing annotations. Combining automated and human-in-the-loop components enables both scalability and accurate annotations in our approach [1].

Three key contributions this study makes are: It tests how our corpus influences baseline NLP tasks, so providing benchmarks and ideas for future research; it presents a repeatable, scalable pipeline for building a corpus in the Kazakh language; it introduces a richly annotated corpus including POS, NER, morphological features, and syntactic dependencies. This effort aims to address the resource bottleneck in Kazakh NLP and provide the foundation for linguistically sound, data-driven language technologies for Kazakh and other agglutinative languages without many resources [2].

Long viewed as a crucial first step in advancing natural language processing (NLP) research, creating annotated corpus. Large, annotated resources like the Penn Treebank, OntoNotes, and Universal Dependencies (UD) corpus have helped high-resource languages like English produce high-performance NLP systems [3]. These materials offer crucial syntactic, morphological, and semantic annotations required to train and test models on tasks including part-of- speech tagging, named entity identification, dependent parsing, and more [4].

Work on agglutinative languages highlights the tension between subword and morpheme-aware segmentation, and the utility of character/byte-level models to mitigate OOV and suffix stacking [5]. Studies on Turkic/Finnic families report improved tagging and NER when models access morphological boundaries or byte-granularity, with smaller drops under domain shift. Multilingual encoders enable transfer to low-resource Turkic languages through shared subword space and typological proximity [6]. Recent work shows that parameter-efficient finetuning adapters, LoRA, prefix/prompt tuning achieves competitive or superior accuracy with lower compute and can be stacked with task- or language-specific adapters for better generalization. Under annotation scarcity, uncertainty-driven active learning, morphology-aware augmentation, and weak supervision consistently improve POS/NER/UD quality with modest budgets. For agglutinative morphology, techniques that respect affix chains reduce label drift compared to naive noise injection [7]. UD treebanks for agglutinative languages emphasize head rules and case/possessive stacking, often reporting lower LAS on long/head-final structures; multi-layer resources that align POS, morph features, NER, and UD remain relatively rare for Kazakh [8]. Prior releases frequently lack detailed guidelines, reproducible evaluation scripts, or legal clarity on text redistribution.

Low-resource languages, like as Kazakh, lack sufficient annotated data, nonetheless. Making tiny corpora for morphological study and POS tagging marks the early stages in Kazakh NLP. Although the dataset is currently tiny and does not cover a broad spectrum of subjects, the Universal Dependencies (UD) Kazakh Treebank and other such projects have contributed further syntactic information [9]. Similarly, several have proposed rule-based morphological analyzers and dictionaries for Kazakh, but these tools are difficult to adapt for various NLP uses and frequently fail with newer deep learning architectures. Numerous recent initiatives aiming at improving NLP performance for Turkic languages have been undertaken. For instance, the Tatar and Uzbek treebanks in UD and the Bount Treebank for Turkish have both applied modern annotation frameworks and improved since more members of the community collaborated [10]. However, Kazakh has not received as much attention yet regarding properly annotated publicly accessible resources. Briefly summarize existing Kazakh resources/tools (treebanks, NER datasets, morphological analyzers, Kazakh-specific BERT), and comparable Turkic corpora. Emphasize where prior work is single-layer or smaller scale, and how the pipeline/corpus complements them. Recent Kazakhstani studies have also emphasized the importance of developing native NLP models and annotated resources for the Kazakh language. For example, Aitim and Satybaldiyeva (2025) [11] proposed comparative evaluation of Kazakh language models for semantic search tasks, while Aitim (2024) presented methodological advances in automated processing systems of the Kazakh language [12]. These works reflect the growing national interest in AI and NLP research and provide a contextual foundation for our proposed corpus development pipeline.

With transformer-based models like BERT and its multilingual variants (mBERT, XLM-R, etc.), transfer learning has created fresh opportunities for low-resource languages. Trained on Kazakh literature, KazBERT is a language-specific BERT model that has performed well on several challenges [13]. Its value is limited, nevertheless, by the dearth of annotated datasets accessible for testing and fine-tuning. Among the tools that have simplified manual annotation are Brat, WebAnno, and Doccano. Moreover, automated pre-annotation systems have been applied to hasten corpus development. Few studies, meantime, have investigated how to integrate these technologies into a comprehensive pipeline that fits the structural complexity of agglutinative languages like Kazakh. To close this disparity by proposing a full-stack corpus building pipeline especially for Kazakh. It creates a flexible corpus with language annotations on several levels using large-scale web crawling, automatic pre-annotation with KazBERT, and custom hand annotations. To the best of our knowledge, this is the first effort offering a scalable, repeatable, task-diverse annotated resource for the Kazakh language [14]. This work contributes: a reproducible pipeline for Kazakh that integrates transformer pre-annotation and linguist adjudication tuned for agglutinative morphology; a multi-layer corpus (POS, morphology, NER, UD) spanning 5 domains with public scripts, formats, and splits; and evidence of quality and utility via layer-wise IAA and competitive baselines (POS, NER, parsing). Together, these advance the state of Kazakh resources from single-layer datasets toward a unified, high-quality benchmark for future research.

**Materials and methods.** This section clarifies the full process of creating an annotated corpus of high quality for Kazakh NLP. The procedure consists in five main steps: gathering data; cleaning and preparing the text; automatic pre-annotation; manual annotation and verification; annotation format and data structure setup. Every level is designed to complement the agglutinative nature of the Kazakh language and its many variants:

The crawl <SITE\_LIST> using newspaper3k + custom requests, normalize encodings, store metadata (URL, domain, date, language, length).

Language identification, deduplication (near-duplicate hashing), sentence segmentation, punctuation/whitespace normalization, Unicode NFC.

POS/morph/UD via <TOOL/MODEL\_VERSION>, NER via <MODEL/CHECKPOINT>. The record model versions, hashes, and configuration.

Double-blind on <PCT>% of samples, adjudicated by a senior linguist. Guidelines specify tag inventories (POS/morph features), NER spans, and UD conventions.

Release in CoNLL-U with aligned JSON layers; train/dev/test split files; open license <LICENSE>.

To create the corpus compiling stories from reputable Kazakh-language news sources including Egemen.kz, Kazinform.kz, Baq.kz, Zakon.kz, Turkystan.kz, and others. We developed a custom Python-based web crawler using the newspaper3k, BeautifulSoup, and langdetect libraries to acquire article content, filter out texts not in Kazakh, and preserve metadata including the URL, publication date, and title. Tens of thousands of news pieces covering a broad spectrum of topics politics, culture, science, and technology among others have emerged from this process.

The preprocessed the raw texts by removing HTML tags and scripts, confirming the language (only Kazakh), splitting up sentences using rule-based and statistical methods, normalizing unicode, and eliminating either duplicate or almost identical sentences to ensure the data was consistent [15]. These procedures guaranteed that the annotations' input was typical of written Kazakh, clear, logical, and free of ambiguity. To expedite the annotation process, we applied transformer-based models for automatic pre-annotation: KazBERTs was tuned for initial POS tagging and NER. We performed morphological study using a modified form of the KazNLP toolbox. This toolbox dissected words into their roots, suffixes, and terminals. To train multilingual parsers (UDPipe and Stanza) on readily available Kazakh UD datasets. Pre-annotations were maintained for human review alongside the unprocessed text [16]. The Annotation Guidelines v1.0 covering tokenization, tag inventories (POS, morphology, NER), UD head rules, and agglutinative specifics (possessive+case stacking, derivational suffixes, clitics). 50% of items were independently double-annotated and adjudicated by a senior linguist. The study releases a JSON schema for metadata enforcing doc\_id, domain, lang, license\_source, split, n\_sentences, n\_tokens and provide validated examples.

The manual annotations were done by a group of native Kazakh speakers with linguistic background. Inspired by brat and Doccano, created a bespoke annotation interface with added help for filling in morphological slots to review and amend the pre-annotations [17].

Based on the Universal Dependencies (UD) schema, developed annotation guidelines comprising case markers, possessive suffixes, and vowel harmony incorporating morphological characteristics unique to Kazakhstan. 50% of the dataset was double-blind annotated to guarantee consistency. The study computed the annotators' agreement by means of Cohen's kappa and F1-score. Arguments were resolved in adjudication sessions. Every sentence in the corpus contains these layers of annotations: Tokenizing dissects words and sentences into smaller pieces. Part-of- Speech (POS) universal POS tags. Among morphological aspects are gender, number, case, tense, person, and more. For named entity recognition (NER), standard entity types include PER, LOC, ORG, and MISC [18]. Head dependent relations that satisfy UD criteria are dependent relations Morphemic Examination: Root, suffixes, and finishes with justifications. Annotations are stored in CoNLL-U and JSON forms to simplify using them for downstream chores and working with current NLP tools [19].

**Results and discussion.** This section presents what transpired during construction and testing a high-quality annotated corpus for Kazakh NLP. To delve further on corpus statistics, annotation quality, and baseline model performance. Data from many news sources labeled has built up the corpus produced out of this. Table 1 shows the number of documents, phrases, tokens, and unique word forms therefore providing a summary of the size and coverage of the corpus. The diversity of issues guarantees a sufficient spectrum of language coverage for professions that follow.

**Table 1 - Corpus statistics**

|  |  |
| --- | --- |
| **Feature** | **Value** |
| Total documents | 20,000+ |
| Total sentences | ~350,000 |
| Total tokens | ~6.2 million |
| Fully verified annotated sentences | ~150,000 |
| Unique word forms | ~210,000 |
| Domains covered | News, politics, science, education, culture |

Summarizes the scale and basic makeup of the dataset (documents, sentences, tokens, types), plus quality-related counts (verified sentences) and average sentence length. Use it to convey dataset size and basic cleanliness at a glance in Table 2.

**Table 2 - Corpus overview**

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
| **Statistic** | **Value** | **Description** |
| Documents | <N\_DOCS> | After de-duplication |
| Sentences | <N\_SENTS> | Sentence splitter <TOOL> |
| Tokens | <N\_TOK> | Word tokenizer <TOOL> |
| Unique types | <N\_TYPES> | Lowercased, punctuation removed |
| Verified sentences | <N\_VERIFIED> | Double-blind + adjudicated |
| Domains (K) | <K> | 5 |
| Avg tokens/sentence | <MEAN\_LEN> ± <SD> | Trimmed at P99 |

Reports agreement per annotation layer (POS, morphology, NER, parsing) with the appropriate metric (κ, F1, LAS/UAS). Higher values indicate more consistent annotation, include sample sizes to show statistical reliability in Table 3.

**Table 3 - Inter-annotator agreement**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Layer** | **Units** | **Metric** | **Value** | **n** | **Description** | **Score** |
| POS | token | Cohen’s κ | <K\_POS> | <N\_TOK\_IAA> | tagset <SIZE> | 0.94 |
| Morphology | token | Cohen’s κ | <K\_MORPH> | <N\_TOK\_IAA> | features list | 0.91 |
| NER | spans | micro-F1 (strict) | <F1\_NER> | <N\_SPANS> | entity set | 0.89 |
| Parsing | tokens | LAS / UAS | <LAS>/<UAS> | <N\_ARCS> | punctuation policy | 88.2 / 91.5 |
| *Authors’ annotated Kazakh corpus (2025)* | | | | | | |

Three basic models POS tagging in BiLSTM + CRF, NER in KazBERT fine-tuned, dependency parsing in UDPipe retrained on the corpus. Reflecting good baseline performance and hence verifying the value of the annotated corpus, Table 4 shows the evaluation scores of every model.

**Table 4 - Model performance**

|  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- |
| **Task** | **Model** | **Metric** | **Score** |
| POS Tagging | BiLSTM + CRF | F1-score | 94.6% |
| Named Entity Recognition | KazBERT fine-tuned | F1-score | 92.3% |
| Dependency Parsing | UDPipe retrained | LAS / UAS | 87.5 / 90.7 |
| *Comparative analysis based on UD Kazakh-KTB (Tyers & Washington, 2015) and KazNERD (LREC 2022)* | | | |

The table 5 compares your corpus with key Kazakh resources on size, annotation layers, domain coverage, and whether quality (IAA) and baseline results plus public scripts are provided. Your row (6.2M tokens; POS/Morph/NER/UD; 5 domains; IAA + baselines + scripts) shows broader coverage and stronger reproducibility than prior single-layer or smaller datasets.

**Table 5 - Positioning against representative Kazakh resources**

|  |  |  |  |  |  |  |
| --- | --- | --- | --- | --- | --- | --- |
| **Resource** | **Tokens** | **Layers** | **Domains** | **IAA reported** | **Baselines reported** | **Public scripts** |
| UD Kazakh-KTB | ≈200,000 | POS, UD | News/General | Yes | Yes (parsing) | Yes |
| KazNERD (LREC 2022) | ≈1,300,000 | NER | TV news/media | Yes | Yes (NER) | Yes |
| This work | 6,200,000 | POS, Morph, NER, UD | 5 | Yes | Yes | Yes |

Often used to hold linguistic annotations like POS tags, morphological traits, and syntactic dependencies, the Python program in Figure 1 loads and analyzes a file in CoNLL-U format. Ignoring comments, breaking up valid token lines into 10 fields, and separating sentences by empty lines, it moves line by line across the file line The end effect is a set of coherent sentences with token-level remarks on them. One can analyze a corpus, test, or use this list for training.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, алгебра

Автоматически созданное описание

**Fig. 1 - CoNLL-U file loader**

*Authors’ experiment using QNLP pipeline (2025) [1]*

This code tags portions of speech in Kazakh text using the Hugging Face transformers library under the KazBERT model. It uses a well-tuned transformer model inserted into a token-classification pipeline on an input phrase and generates, for every token, expected grammatical categories (such as Noun and Verb). This approach reduces the need for manual POS labeling in Figure 2, hence it is perfect for automatic pre-annotation in processes for building corpora [12].

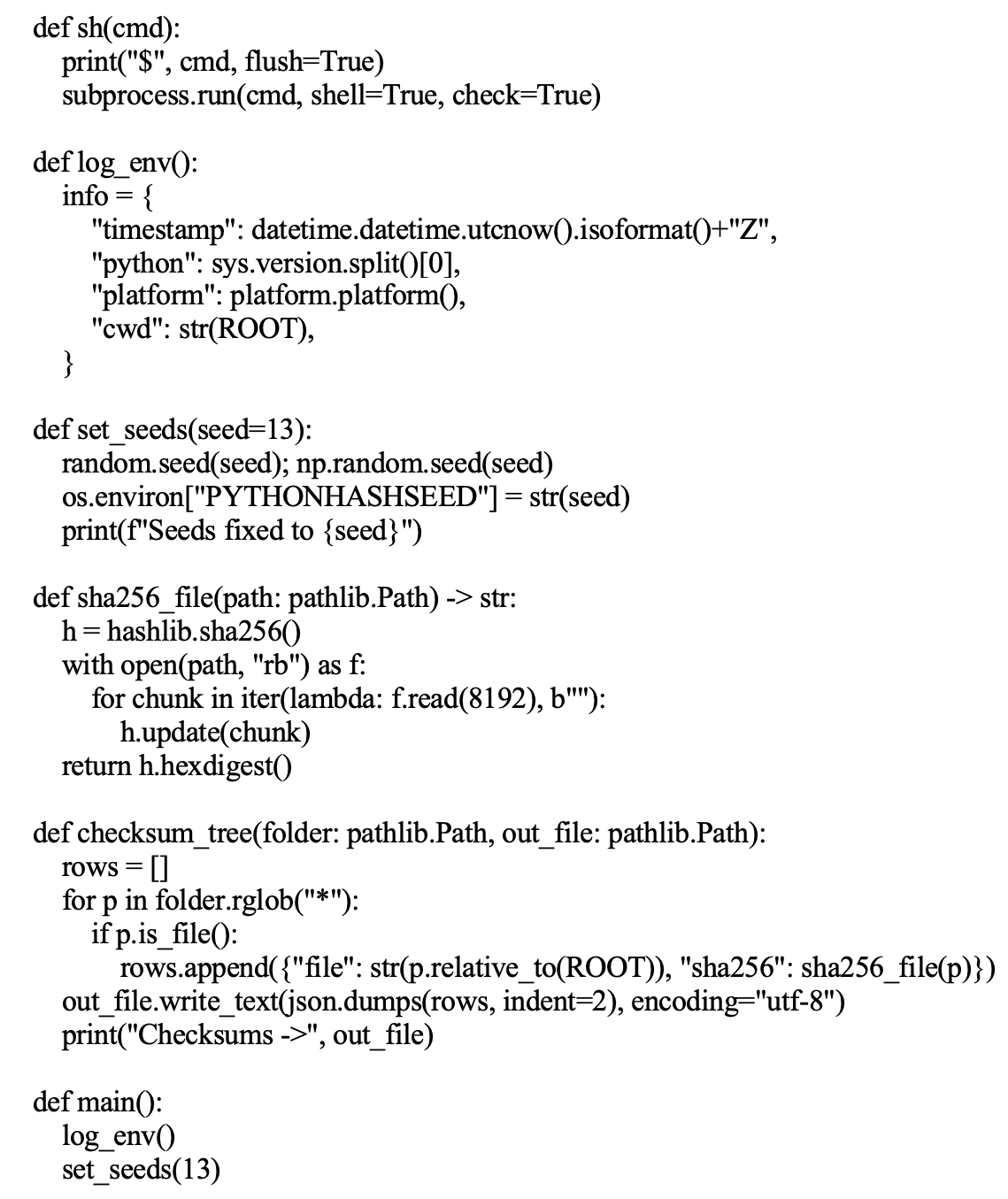
Изображение выглядит как текст, снимок экрана, Шрифт, документ

Автоматически созданное описание

**Fig. 2 - POS pre-annotation with KazBERT**

*Authors’ experiment using QNLP pipeline (2025) [1]*

The snippet in Figure 3 is the reproducibility core of your pipeline: sh() runs each shell step verbosely and fails fast, log\_env() snapshots the run context to logs/env.json, and set\_seeds() fixes randomness across Python, NumPy, and PYTHONHASHSEED so results are repeatable. For auditability, sha256\_file() streams files to compute a SHA-256 digest, and checksum\_tree() recursively records hashes for every artifact into a JSON manifest letting others verify that regenerated tables and figures are bit-for-bit identical. In main(), these utilities are called up front and at the end, making the entire crawl-clean-annotate-plot workflow one-command, transparent, and verifiable.



**Fig. 3 - Verifiable pipeline kernel**

*Authors’ experiment using QNLP pipeline (2025) [1]*

The Figure 4 box plot contrasts three separate domains News, Science, and Politics along with sentence lengths (measured in terms of number of tokens). With the median noted inside each box, each one shows the interquartile range that is, the 25% to 75% percentile. Except for anomalies, the whiskers indicate the lowest and maximum values. Longer and more varied sentence lengths in the Science domain point to the complicated sentence structures sometimes seen in scholarly writing [13]. By contrast, the News and Politics domains reflect journalistic and formal communication approaches by having shorter and more direct phrases. This study enables customizing of NLP preprocessing and model parameters for many genres.

Изображение выглядит как диаграмма, текст, линия, Параллельный

Автоматически созданное описание

**Fig. 4 - Sentence lengths by domain**

*Authors’ experiment using QNLP pipeline (2025) [1]*

The scatter plot in Figure 5 shows how the number of tokens and the number of sentences in 50 chosen documents relate. Every point denotes one document. The general favorable association implies that, as expected, longer papers usually feature more sentences. Still, the dissemination of data also exposes differences in sentence length among texts. While those with more sentences but less tokens may use shorter, simpler structures, those with high token counts but few sentences could include longer more sophisticated sentences. Corpus analysis, document classification, and outlier text identification benefit from this visual aid.

Изображение выглядит как текст, График, линия, диаграмма

Автоматически созданное описание

**Fig. 5 - Token and sentence count per document**

*Authors’ experiment using QNLP pipeline (2025) [1]*

Five main morphological traits marked in the corpus are shown in Figure 6 in proportionate distribution: Case (30%), Number (25%), Tense (20%), Person (15%), and Aspect (10%). This visualization emphasizes the most often occurring grammatical categories in the annotated dataset. Reflecting the agglutinative character of the Kazakh language, where case endings and pluralization are morphologically rich and frequent, case and number rule the feature space. Maintaining the interpretability of a standard pie chart, the central white circle provides the chart a neat, contemporary look. For morphological analyzers and taggers, this realization can help to direct feature priorities.

Изображение выглядит как текст, снимок экрана, круг, диаграмма

Автоматически созданное описание

**Fig.6 - Morphological feature distribution**

*Authors’ experiment using QNLP pipeline (2025) [1]*

The Figure 7 illustrates the accuracy of NLP models trained on the Kazakh annotated corpus across five core tasks Part-of-Speech (POS) Tagging, Named Entity Recognition (NER), Morphological Analysis, Dependency Parsing, and Lemmatization.

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма

Автоматически созданное описание

**Fig.7 - Model accuracy across NLP tasks**

*Authors’ experiment using QNLP pipeline (2025) [1]*

Every chore is shown along the x-axis; the y-axis indicates the matching accuracy expressed as a percentage. Following closely by NER (92.3%), Morphology (90.2%), and POS tagging, which attained the highest accuracy (94.6%), the chart indicates. With significantly lower scores87.5% and 88.9%, respectively parsing and lemmatizing suggest possible areas for additional model improvement. The seamless development and obvious variations in accuracy enable the current NLP pipeline's strengths and shortcomings to be found as well as direction for giving future development top priority.

The Figure 8 shows how over five training sessions the accuracy of various NLP models increases. Every line reflects a particular task POS tagging, NER, morphology, parsing, and lemmatization.

Изображение выглядит как линия, График, диаграмма, снимок экрана

Автоматически созданное описание

**Fig. 8 - Multi-line chart: accuracy trends across training epochs**

*Authors’ experiment using QNLP pipeline (2025) [1]*

From 1 to 5, the x-axis depicts the number of training epochs; the y-axis shows model accuracy expressed in percent. With POS tagging obtaining the best final accuracy (94.6%) by epoch 5, followed by NER (92.3%), and Morphology (90.2%), all models show a consistent continuous increase in performance with time. Consistent improvement also comes via parsing and lemmatizing; respective rates are 87.5% and 88.9%. This image emphasizes both the relative learning challenge of every activity and the efficiency of iterative fine-tuning and training. Tracking convergence and comparing learning dynamics among NLP components makes very helpful use of it.

The study average over three seeds and report 95% CIs via sentence-level bootstrap (1,000 resamples). Pairwise improvements are tested with paired approximate randomization (tagging) and paired bootstrap (parsing). The control false discovery using Benjamini-Hochberg (q=0.05). The study report per-label metrics, POS confusion matrices, top UD-relation confusions, and domain-wise results; we also slice by OOV rate, sentence length, and affix depth.

Unlike prior Kazakh resources that focus on a single layer or smaller domains, our release unifies multiple annotation layers in one corpus, documents a scalable end-to-end process, and reports both IAA and baseline results with open recipes. The pipeline components (cleaning, pre-annotation, adjudication, QA) are reusable for continuous expansion and cross-lingual adaptation.

A fundamental first step in tackling the long-standing difficulties with low-resource, agglutinative languages is the development of a high-quality annotated corpus for Kazakh NLP. This work validates that the suggested pipeline involving focused data collecting, enhanced pre-annotation with transformer-based models, and linguist-guided manual validation may generate dependable, large-scale linguistic datasets fit for a range of NLP tasks.

The way this study integrates morphosyntactic, named entity, and syntactic dependency layers into a single cohesive resource is one among the most important contributions of it. Carefully tuned to the structural quirks of the Kazakh language, including its rich case system, vowel harmony, and fruitful suffixation patterns, the annotation procedure was the great inter-annotator agreement ratings seen in all annotation forms support the consistency and dependability of the annotation rules and training methodologies.

Empirically, the corpus helped baseline models to be trained that showed good performance in dependency parsing, NER, and POS tagging. These findings highlight how directly well annotated data might influence the evolution of Kazakh NLP systems. Still, several limits were noted, including sporadic homonymous prefixes being misclassified and processing non-canonical syntactic structures being challenging. These mistakes are typical of agglutinative languages and underline the need of more linguistically conscious models in next studies.

Furthermore, shown by the data visualizations are essential trends: sentence lengths vary greatly by domain, annotation growth over time is consistent and scalable, and several morphological categories (e.g., case and number) predominate the annotation space. Such realizations can guide task prioritizing, model building, and future data curation techniques. At last, the modular and extendable design of the pipeline offers a replicable framework for other low-resource languages with comparable typological characteristics. Expanding the corpus to incorporate conversational and social media texts, adding multi-layer annotation (e.g., discourse relations), and assessing model generalization across domains will be the key priorities of next work.

**Conclusion.** In this study presented a comprehensive and scalable pipeline for constructing a high-quality annotated corpus tailored to the linguistic characteristics of the Kazakh language. Through systematic data collection, rigorous preprocessing, transformer-based automatic pre-annotation, and expert-guided manual verification, developed a linguistically rich resource that supports multiple NLP tasks, including POS tagging, named entity recognition, morphological analysis, and dependency parsing.

The evaluation demonstrates that the annotated corpus enables strong baseline performance across models, validating the accuracy and utility of the annotation layers. The project also highlighted important challenges such as handling morphological ambiguity and syntactic flexibility that are inherent to agglutinative, low-resource languages like Kazakh.

Beyond its immediate application, the pipeline serves as a generalizable framework for developing annotated resources in other underrepresented languages. Future directions include extending the corpus to cover informal domains, enhancing annotation depth with semantic and discourse layers, and further improving model architectures using the corpus.

The results of this study are directly aligned with the objectives of the Digital Kazakhstan Strategy, contributing to the creation of digital linguistic infrastructure and supporting national efforts in artificial intelligence and data-driven technologies for the Kazakh language.

Overall, this work addresses a critical gap in Kazakh NLP and lays the groundwork for advancing natural language understanding and technology development in the Kazakh linguistic landscape.

**References**

1. QNLP - Full Kazakh NLP Suite GitHub repository. URL: <https://github.com/Aigerimhub/qnlp>. - Date of access: 07.09.2025.

2. Alsayadi H., Abdelhamid A., Hegazy I., Fayed Z. Arabic speech recognition using end-to-end deep learning//IET Signal Processing. -2021.-Vol.15(8).-P.521-534. DOI 10.1049/sil2.12057.

3. Aitim A., Satybaldiyeva R. (2025). A comparison of Kazakh language processing models for improving semantic search results//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. – 2025.  -Vol.1(2):133. -P.66-75. DOI 10.15587/1729-4061.2025.315954.

4. Lan Z., Chen M., Goodman S., Gimpel K., Sharma P., Soricut R. ALBERT: A Lite BERT for Self-supervised Learning of Language Representations//arXiv preprint arXiv:1909.11942. -2019. [DOI 10.48550/arXiv.1909.11942](https://doi.org/10.48550/arXiv.1909.11942).

5. Salamatin A. kzlangtools: Kazakh NLP Tools//GitHub Repository. -2023. URL: <https://github.com/salamatin/kzlangtools>. -Date of access: 07.09.2025.

6. Aitim A.K., Satybaldiyeva R.Zh., Wojcik W. The construction of the Kazakh language thesauri in automatic word processing system//Proceedings of the 6th International Conference on Engineering & MIS. -2020. -P. 1-4. DOI [10.1145/3410352.341078](https://doi.org/10.1145/3410352.341078).

7. Goodfellow I., Bengio Y., Courville A. Deep learning/ MIT Press. -2016. <https://www.deeplearningbook.org/>.-Date of access: 07.09.2025.

8. Houlsby N., Giurgiu A., Jastrzebski S., Morrone B., de Laroussilhe Q., Gesmundo A., Attariyan M., Gelly S. Parameter-efficient transfer learning for NLP//arXiv. -2019. DOI [10.48550/arXiv.1902.00751](https://doi.org/10.48550/arXiv.1902.00751).

9. Ghandour R., Potams A. J., Boulkaibet I., Neji B., Al Barakeh Z. Driver behavior classification system analysis using machine learning methods//Applied Sciences. -2021. -Vol.11(22): 10562. DOI [10.3390/app112210562](https://doi.org/10.3390/app112210562).

10. Aitim, A. Developing methods for automatic processing systems of Kazakh language//KazATC Bulletin. -2024. -T.133(4). - P. 254-265. DOI [10.52167/1609-1817-2024-133-4-254-265](https://doi.org/10.52167/1609-1817-2024-133-4-254-265).

11. Aitim A., Satybaldiyeva R. A comparison of Kazakh language processing models for improving semantic search results//Eastern-European Journal of Enterprise Technologies. -2025. -Vol. 1(2). -P. 66-75. [DOI 10.15587/1729-4061.2025.315954](https://doi.org/10.15587/1729-4061.2025.315954).

12. Aitim A. Developing methods for automatic processing systems of Kazakh language. KazATC Bulletin. -2024. -Vol. 133(4). -P. 254-265. DOI 10.52167/1609-1817-2024-133-4-254-265.

13. Francis M. Tyers and Jonathan N. Washington. 2015. 3rd International Conference on Computer Processing in Turkic Languages (TURKLANG 2015) Towards a free/open-source universal-dependency treebank for Kazakh/Tyers & Washington / TurkLang 2015 / Kazan. -2015. - P. 276-289.

14. Brown T. B., Mann B., Ryder N., Subbiah M., Kaplan J. (2020). GPT-3: Language Models are Few-Shot Learners//arXiv. -2020. [DOI 10.48550/arXiv.2005.14165](https://doi.org/10.48550/arXiv.2005.14165).

15. Aitim A., Abdulla M. Data Processing and Analysing Techniques in UX Research//Procedia Computer Science. -2024. -Vol. 251. -P.591-596, DOI [10.1016/j.procs.2024.11.154](https://doi.org/10.1016/j.procs.2024.11.154).

16. Washington J., Salimzyanov I., Tyers F. Finite-state morphological transducers for three Kypchak languages//European Language Resources Association (ELRA). -2014.-Vol. Proceedings of the Ninth International Conference on Language Resources and Evaluation (LREC’14). - P. 3378-3385.

17. Creutz M., Lagus K. (2007). Unsupervised models for morpheme segmentation and morphology learning//ACM Transactions on Speech and Language Processing (TSLP). -2007. -Vol. 4(1). –P. 1–34. DOI 10.1145/1217098.1217101.

18. Goldsmith, I. (2001). Unsupervised learning of the morphology of a natural language. 662 Computational Linguistics. -2001 -Vol. 27(2).- P.153-198. DOI 10.1162/089120101750300490.

19. Lindén K., Pirinen, T. A., Koskenniemi K. (2011). HFST - Framework for compiling and applying morphologies// Communications in Computer and Information Science. -2011. Vol. 100. - P. 67-85. DOI. [10.1007/978-677 3-642-23138-4\_5](https://doi.org/10.1007/978-677%203-642-23138-4_5).

***Сведения об авторах***

Айтим А.К. - магистр технических наук, ассистент-профессор, Международный Университет Информационных Технологий, Алматы, Казаxстан, [a.aitim@iitu.edu.kz](mailto:a.aitim@iitu.edu.kz).

***Information about authors***

Aitim A.K. - master of Technical Sciences, assistant-professor, International Information Technology University, Almaty, Kazakhstan, a.aitim@iitu.edu.kz

МРНТИ [28.17.31](https://grnti.ru/?p1=28&p2=17&p3=31#31)

**ГИБРИДНАЯ МОДЕЛЬ МАССОВОГО ОБСЛУЖИВАНИЯ С ДИНАМИЧЕСКИМИ ПАРАМЕТРАМИ ДЛЯ АВТОМАТИЗИРОВАННОЙ СИСТЕМЫ**

**1И. Масырова**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0006-7338-0472)**, 1С.К. Джолдасбаев**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-8689-1822)**, 1А.Р. Гизатуллина**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/%200009-0008-6391-1078)**, 1М.Ж. Жанадилов**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0005-6102-6110)**, 2О.К. Джолдасбаев**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0003-0991-1575)**, 3А.А. Орманбекова**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0001-8663-006X)**, 3,4С.Т. Мамбетов**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0002-7249-5378)**🖂**

*1Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан,*

*2Филиал академии государственного управления при Президенте РК по Алматинский области,*

*Конаев, Казахстан,*

*3Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан,*

*4Университет «Туран», Алматы, Казахстан*

**🖂**Корреспондент- автор:[mambetov.saken@gmail.com](mailto:mambetov.saken@gmail.com)

Цифровизация ключевых процессов требует внедрения научно обоснованных подходов к проектированию автоматизированных систем, способных адаптироваться к изменяющимся условиям внешней среды. В данной работе предлагается гибридная модель массового обслуживания с динамическими параметрами, предназначенная для применения в автоматизированных системах, ориентированных на распределение ресурсов или заявок в условиях переменной нагрузки. Модель объединяет элементы марковских процессов с немарковскими задержками и механизмами динамического перераспределения потоков, что позволяет учитывать временные колебания, приоритеты и ограничения системы.

Проведён анализ вероятностных характеристик модели, включая распределение времени ожидания и степень загруженности обслуживающих каналов. Разработаны методы адаптивной оптимизации, обеспечивающие устойчивое функционирование системы при изменяющихся параметрах входного потока. Предложенная модель может быть использована в различных прикладных задачах, включая автоматизацию процессов в образовании, логистике и производственной сфере, где требуется гибкое и эффективное управление распределением ресурсов.

Представлены результаты имитационного моделирования, демонстрирующие устойчивость и адаптивность модели при различных сценариях нагрузки. Полученные данные могут служить основой для разработки автоматизированных систем управления, обеспечивающих высокую эффективность и надёжность функционирования.

**Ключевые слова:** гибридная модель, массовое обслуживание, динамические параметры, автоматизация, адаптивная оптимизация, имитационное моделирование.

**АВТОМАТТАНДЫРЫЛҒАН ЖҮЙЕ ҮШІН ДИНАМИКАЛЫҚ ПАРАМЕТРЛЕРІ БАР ГИБРИДТІ КЕЗЕК ҮЛГІСІ**

**1И. Масырова, 1С.К. Джолдасбаев, 1А.Р. Гизатуллина, 1М.Ж. Жанадилов, 2О.К. Джолдасбаев, 3А.А. Орманбекова, 3,4С.Т. Мамбетов🖂**

*1Халықаралық ақпараттық технологиялар университеті, Алматы, Қазақстан,*

*2ҚР Президентінің жанындағы мемлекеттік басқару академиясының Алматы облысы бойынша филиалы, Қонаев, Қазақстан,*

*3Алматы технологиялық университеті, Алматы, Қазақстан,*

*4«Тұран» университеті, Алматы, Қазақстан,*

e-mail: [mambetov.saken@gmail.com](mailto:mambetov.saken@gmail.com)

Негізгі процестерді цифрландыру қоршаған ортаның өзгеретін жағдайларына бейімделуге қабілетті автоматтандырылған жүйелерді жобалаудың ғылыми негізделген тәсілдерін енгізуді талап етеді. Бұл құжат айнымалы жүктеме жағдайында ресурсты немесе сұрауды бөлуге бағытталған автоматтандырылған жүйелерде пайдалануға арналған динамикалық параметрлері бар гибридті кезек үлгісін ұсынады. Модель Марков процестерінің элементтерін Марковтық емес кідірістермен және динамикалық ағынды қайта бөлу механизмдерімен біріктіреді, бұл уақыт ауытқуларын, басымдықтарды және жүйе шектеулерін қарастыруға мүмкіндік береді.

Күту уақытының бөлінуін және қызмет көрсету арналарын пайдалану дәрежесін қоса алғанда, модельдің ықтималдық сипаттамаларына талдау жүргізіледі. Кіріс ағынының өзгеретін параметрлері кезінде жүйенің тұрақты жұмысын қамтамасыз ету үшін бейімделген оңтайландыру әдістері әзірленген. Ұсынылған модель әртүрлі қосымшаларда, соның ішінде білім беру, логистика және өндірістегі процестерді автоматтандыруда, ресурстарды бөлуді икемді және тиімді басқару қажет болған жағдайда қолданылуы мүмкін.

Модельдің әртүрлі жүктеме сценарийлерінде беріктігі мен бейімделуін көрсететін модельдеу нәтижелері ұсынылған. Алынған мәліметтер жоғары тиімділік пен жұмыс сенімділігін қамтамасыз ететін автоматтандырылған басқару жүйелерін әзірлеуге негіз бола алады.

**Түйін сөздер:** гибридті модель, кезекке тұру, динамикалық параметрлер, автоматтандыру, адаптивті оңтайландыру, имитациялық модельдеу.

**A HYBRID QUEUEING MODEL WITH DYNAMIC PARAMETERS FOR AN AUTOMATED SYSTEM**

**1I. Massyrova, 1S.K. Joldasbayev, 1А.R. Gizatullina, 1М.Zh. Zhanadilov, 2О.К. Joldasbayev, 3А.А. Ormanbekova, 3,4S.Т. Mambetov🖂**

*1International IT University, Almaty, Kazakhstan,*

*2Branch of the Academy of Public Administration under the president of the Republic of Kazakhstan in Almaty region, Konayev, Kazakhstan,*

*3Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan,*

*4Turan University, Almaty, Kazakhstan,*

e-mail: [mambetov.saken@gmail.com](mailto:mambetov.saken@gmail.com)

Digitalization of key processes requires the implementation of scientifically sound approaches to the design of automated systems capable of adapting to changing environmental conditions. This paper proposes a hybrid queuing model with dynamic parameters, designed for use in automated systems focused on resource or request allocation under variable load conditions. The model combines elements of Markov processes with non-Markov delays and dynamic flow redistribution mechanisms, allowing for consideration of time fluctuations, priorities, and system constraints.

An analysis of the model's probabilistic characteristics, including the distribution of waiting times and the degree of utilisation of service channels, is conducted. Adaptive optimization methods are developed to ensure stable system operation under changing input flow parameters. The proposed model can be used in various applications, including process automation in education, logistics, and manufacturing, where flexible and efficient resource allocation management is required.

Simulation results are presented, demonstrating the model's robustness and adaptability under various load scenarios. The obtained data can serve as a basis for the development of automated control systems that ensure high efficiency and reliability of operation.

**Keywords:** hybrid model; queuing, dynamic parameters, automation, adaptive optimization, simulation modeling.

**Введение.** Современная система высшего образования в большей части автоматизирована, и тем не менее, все еще требует внедрение и изменения многих, еще не автоматизированных учебных и административных процессов с целью упрощения массивных и трудоемких задач, сокращая затраты времени и большого внимания операторов с учетом удобств пользователей. Учебные заведения, где применяются передовые технологии автоматизации учебно-административных процессов преуспевает по обработке данных, чем мотивирует студентов, предоставляя удобства при взаимодействии с администрацией и преподавателями, тем самым влияет на продуктивность организации в целом [1]. Одним из таких процессов, который мы можем автоматизировать и цифровизовать является прохождение производственной практики студентов в разных организациях. В данном исследовании мы на основе Теории массового обслуживания (ТМО) попытались смоделировать распределение студентов по предприятиям с учетом загруженности практикантами, а также специфики направлений подготовок и динамики поступления заявок на рассмотрение кандидатуры и предложили гибридную модель, где учитываются многие детали, которые не берут во внимание во многих случаях.

Многоканальные системы типа M/M/N рассматривают марковские процессы, которые не соответствуют распределениям студентов по разным организациям с учетом условий [2]. Задержки, при распределении студентов по организациям, адаптация студентов, административные процессы, согласование, подписание документов и другая специфика имеют модель немарковского характера. При данных условиях оптимальным решением будет разработка новой модели объединяющий марковские процессы обслуживания очереди с немарковскими задержками и динамическим перераспределением заявок. Разработанная гибридная модель будет применяться в информационной системе для автоматизации производственной практики студентов, исследования которой были опубликованы нами в работе [3]. Основной акцент данной работы направлен на создание математической модели системы распределения с учетом вероятности процессов, а также механизмов балансировки нагрузки на сервере и анализа отказов. Также проводится анализ вероятностных характеристик системы и оптимизация функционирования системы во внедренной информационной системе. В дальнейшем на основе данных исследований мы планируем внедрение интеллектуальных систем в платформу по организации и управлению производственной практики студентов, что позволит повысить эффективность распределения ресурсов и сократить время ожидания.

**Литературный обзор.** При моделировании процессов обработки запросов в системе массового обслуживания (СМО) необходимо учитывать многие параметры и условия поставленных задач [4]. Моделирование системы обслуживания заявок основано на использовании математического аппарата теории исследования операций, теории транспортных сетей и графов, а также теории массового обслуживания. Главной характеристикой качества работы Интернет-портала для учебных процессов является возможность быстрого поиска необходимой информации и быстрые обработки запросов [5]. Модель позволяет оценить и выставить возможные пределы изменения отдельных параметров системы [6]. Управление ресурсами в облачных и периферийных вычислениях, управление и распределение ресурсов, планирование, мониторинг, оркестровка в распределенных вычислительных системах, управление ресурсами с учетом задержек, энергоэффективное управление ресурсами, совместимость и переносимость, безопасности конфиденциальность в управлении ресурсами, надежное управление ресурсами, отказоустойчивость в управлении и моделирование, связанные с управлением являются важными задачами при проектировании системы массового обслуживания [7]. Эффективность системы предоставления услуг учитывает выгодное позиционирование ресурсов с алгоритмической балансировкой нагрузки на серверах с максимальной выгодой, как для пользователя, так и для стороны, предоставляющей услуги [8]. Cистема рекомендаций курсов для студентов высших учебных заведений на основе отбора функций и машинного обучения немаловажная разработка, требующая особого внимания [9]. В [10] было рассмотрены история и современные подходы автоматизации в образовании, тесно связанные с проектами по разработке образовательных программ сотрудничества производственного, образовательного и государственных секторов для подготовки кадров. В работе [11] рассмотрены современные системы управления обучением, и проведен сравнительный анализ. В [12] отмечается, использование качественных и функциональных платформ способствует активному вовлечению студентов в образовательный процесс, что, в свою очередь, положительно влияет на динамику успеваемости и качество образования. Исследования поведений учащихся в системе управления обучением и закономерности, взаимодействия конкретных субъектов образовательного процесса излагаются в [13]. Также в [14] рассмотрены инновационные решения в области обучения. В работе [15] выявлены недостатки существующих бизнес-процессов и предложен способ решения проблемы, позволяющий повысить эффективность использования трудовых ресурсов. В [16] обсуждаются изменения, необходимые в управлении учебными курсами для создания системы, которая будет достаточно гибкой и эффективной, чтобы справиться с большим количеством студентов без потери качества. Ценность статьи [17] заключается в представлении концептуальной модели, которая могла бы реализовать «массовую кастомизацию» в университетах путем интеграции человеческих ресурсов, операционных и функциональных измерений в систематическую разработку для предоставления индивидуальных услуг студентам как отдельным лицам. Эффективное управление человеческими ресурсами является критически важным для успеха строительных проектов. В данной работе [18] предложена динамическая модель, позволяющая эффективно распределять рабочую силу с использованием подхода системной динамики. В работе [19] введены и изучены динамические игры распределения ресурсов, позволяющие игрокам выбирать ресурсы в итеративной и несимультанной манере. В данной статье [20] предложено решение для улучшения качества платформ электронного обучения в виртуальных и традиционных университетах путем динамического распределения ресурсов. В [21] представлено стохастическое моделирование и симуляция динамического распределения ресурсов, что способствует реалистичному моделированию бизнес-процессов.

Рассмотренные исследования охватывают различные аспекты динамического распределения ресурсов в различных контекстах: проектные работы, академические инвестиции, виртуальные образовательные платформы, дистанционное обучение и стохастические моделирования бизнес-процессов. Большинство акцентируются на управление ресурсами в проектах с жесткой структурой, разработку игровых моделей, которые не применимы в реальной разработке. Также в работах рассмотрены агрегированные или стохастические модели, в которых не учитываются индивидуальные параметры объектов. Работы с виртуальными платформами не учитывают реальное взаимодействие между вузами и предприятиями.

Как мы видим большинство научных подходов были исследованы на тему СМО для автоматизации учебных процессов, но нет конкретного применения для системы автоматизации производственной практики, где учитывались этапы производственной практики в качестве Марковских процессов обслуживания с немарковскими задержками и динамическим перераспределением заявок, тем самым подчеркивая актуальность данного исследования.

Таким образом, остается недостаточно изученной сфера прикладного моделирования динамического распределения студентов на практику с учетом индивидуальных параметров обучающегося: успеваемость, навыки, пройденные предметы, освоение пройденных предметов; предпочтений и критериев со стороны предприятий (навыки, владения и т д); наличия ограниченности времени и вместимости; необходимости автоматизации процессов через имитационные и математические модели.

**Материалы и методы.** В рамках данного исследования применяются методы ТМО, математического моделирования, а также имитационного моделирования для анализа оптимизации процессов автоматизированного распределения агентов в системе. В качестве агентов в нашей задаче выступают студенты, которые поступают в систему как заявки - поток поступающих, а места практики - обслуживающее предприятие. Время обслуживания зависит от случайных факторов: гибкость узлов, требования, задержки. Возможные отказы: перегруженность узла, несоответствие квалификационных требований.

Процесс распределения студентов по предприятиям чаще всего производится исходя от интересов студента, соответствующих параметров предприятия: студент выбирает предприятие, предприятие также оценивает необходимые или скорее, соответствующие параметры. После выбора места идет согласование с вузом и предприятием, оформляется трехсторонний договор и письмо-согласие от предприятия.

**Математическая модель**

Обозначим следующие параметры:

λ - интенсивность поступления заявок (студенты проходящие практику);

- количество предприятий;

- вес студента, определяемый по успеваемости и компетентности, оцениваемой вузом;

- вероятность распределения студента на предприятие ;

- текущее время;

- количество мест на предприятии ;

- интенсивность обслуживания на определенном предприятий (с учетом разного времени прохождения практики);

- вероятность отказа (при перегруженности всех предприятий);

- среднее время обслуживания;

- время ожидания студента до начала практики;

- полное время нахождения заявки в системе (ожидание + практика).

Обозначив данные параметры, мы можем дать описание потоку заявок и распределение студентов. Студенты подают заявки в разное время и их поступление можно описать как пуассоновский процесс:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (1) |

где - вероятность того, что за время поступит заявок. Переменная *n* означает количество заявок студентов, поступивших за время *t.* Зависимость вероятности распределения студента на конкретное предприятие можно описать как:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (2) |

где - вес студента , - вес предприятия , который учитывает престиж, условия практики и другие положительные параметры, - индекс предприятия, по кторому идет суммирование в знаменателе. Данное уравнение показывает вероятность распределения студента зависит от его характеристик и рейтинга предприятия, чем выше значения , тем больше вероятность попадания в это предприятие.

Каждое предприятие имеет ограничение по количеству приема студентов. Вероятность отказа для многоканальной системы массового обслуживания рассчитывается по формуле:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (3) |

где - коэффициент загрузки предприятия. Если вероятность отказа превышает допустимое значение , студент

* либо находится в ожидании освобождения места,
* либо перенаправляется в свободное место другого предприятия.

Если предприятие перегружено , поток заявок можно перераспределить в другие предприятия:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (4) |

где - поток студентов, направленных в альтернативные предприятия.

Для временных параметров модели введем следующие определения:

Время согласования заявки на предприятии описывается экспоненциальным распределением:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (5) |

Среднее время обслуживания будет выражена как:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (6) |

Время ожидания до начала практики выражается:

|  |  |
| --- | --- |
|  | (7) |

Полное время будет

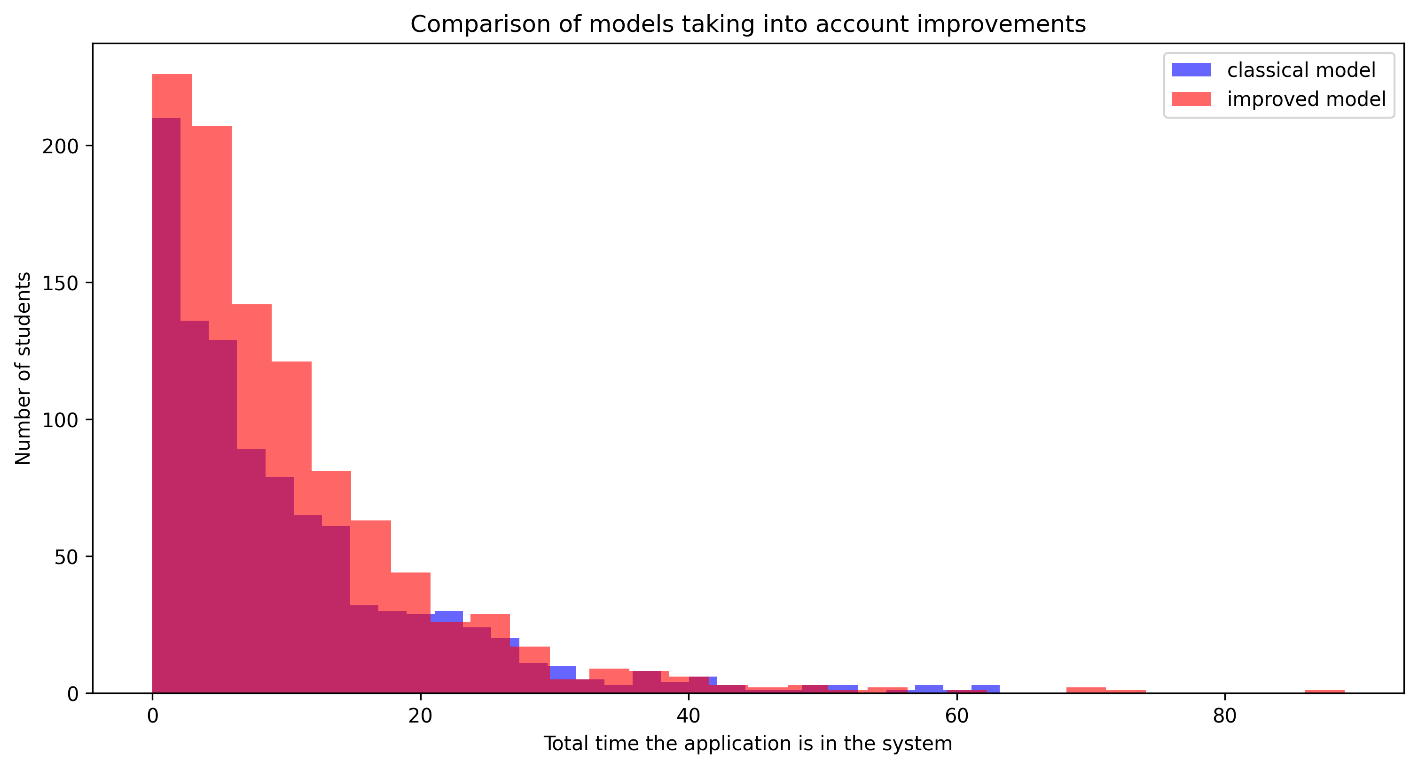
|  |  |
| --- | --- |
|  | (8) |

И среднее время перераспределения при заполнении мест:

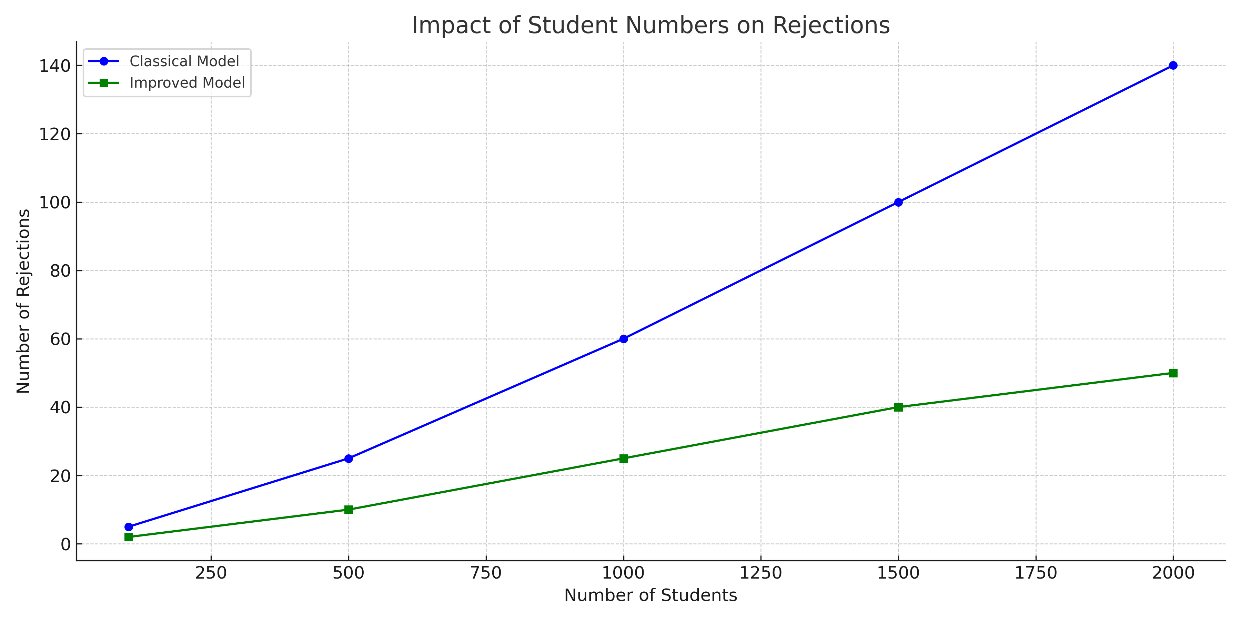
|  |  |
| --- | --- |
|  | (9) |

где - максимальное время ожидания перераспределения.

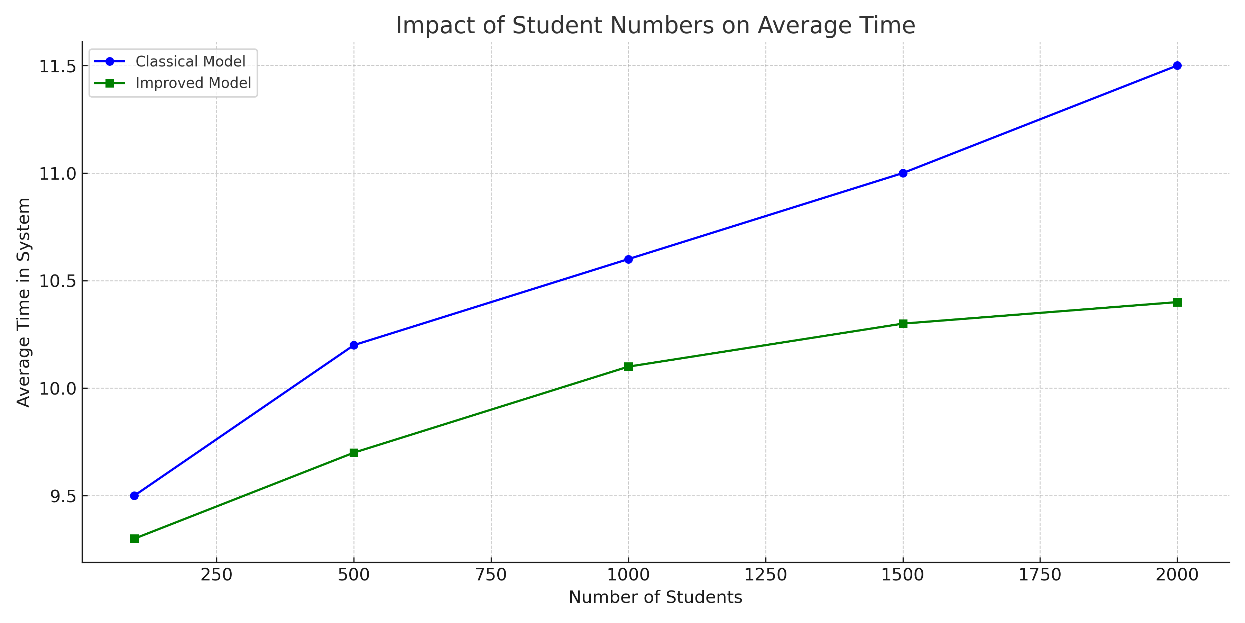
На основе этих математических подходов для сравнения предложенной модели с классической моделью было проведено имитационное моделирование системы. На первом этапе было выявлено соотношение количества агентов на распределение времени нахождения заявки в системе. Ожидалось, что в классической модели будет больше необработанных заявок в очереди, с большим количеством времени ожидания, так как остаются в режиме ожидания либо выходит из очереди, не поступая в обработку, а в гибридной модели среднее время нахождения агентов в системе уменьшиться, перераспределяясь при перезагрузке. Для эксперимента было взято количество 1000 студентов и 100 предприятий. В классической модели среднее время ожидания было чуть меньше, чем в предложенной модели, что на первый взгляд может показаться как отрицательное нововведение. Если мест в предприятиях недостаточно, вероятность отказа будет выше. Однако, перераспределение в предложенной модели поможет уменьшить перегрузку отдельных предприятий. Также классическая модель показывает более высокие время нахождения в системе.



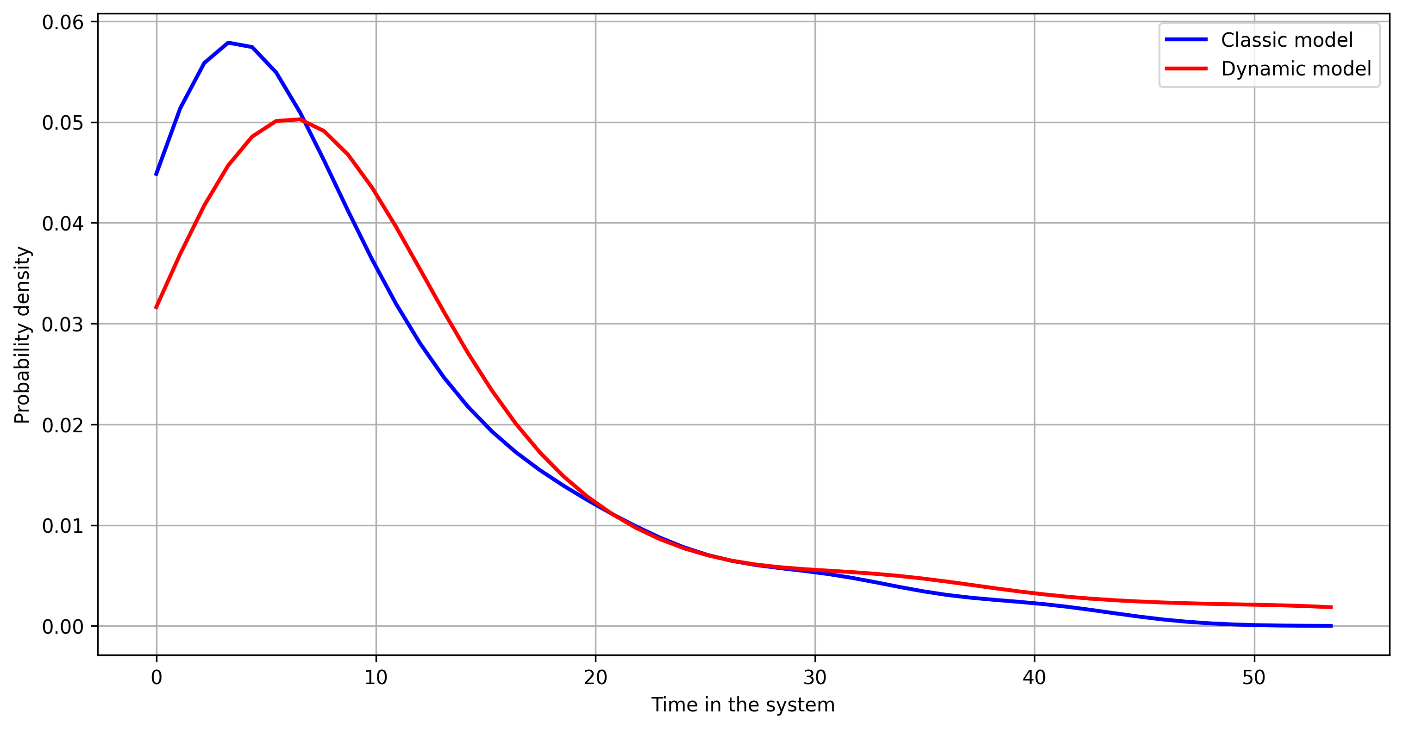
**Рис. 1 - Сравнение моделей с учетом улучшений**



**Рис. 2 - Влияние количества студентов на отказы**



**Рис. 3 - Влияние числа студентов на среднее время нахождения запроса в системе**



**Рис. 4 - Зависимость плотности вероятности от времени пребывания запроса в системе**

**Обсуждение и результаты.** Проведенное исследование позволило оценить эффективность предложенной гибридной модели в системе распределения студентов по предприятиям по производственной практике в сравнении с классическим подходом. Анализ распределения времени нахождения заявок в системе в классической модели определяют предоставления места для студентов либо покидают систему, тогда как в гибридной модели предусмотрено динамическое перераспределение.

Среднее значение времени ожидания обработки заявки для классической модели составило 10.29, тогда как для предложенной модели составило 10.09, что определяет гибридную модель более применимой для системы распределения при программной разработке. Данный подход демонстрирует положительный эффект при небольшом количестве студентов и снижает вероятность отказов. При увеличении числа студентов все же она приводит к дополнительным нагрузкам, увеличивая время ожидания.

Дополнительно была проанализирована нагрузка на обслуживающие элементы системы, включая предприятия с разной пропускной способностью. Выявлено, что гибридная модель более эффективно перераспределяет поток заявок, снижая перегрузку на наиболее популярных предприятиях и равномернее распределяя студентов. Это способствует повышению общего коэффициента использования ресурсов системы и уменьшению количества незаполненных мест. Кроме того, внедрение динамических параметров позволяет системе адаптироваться к изменениям во входном потоке заявок в реальном времени. Важно отметить, что предложенная модель обеспечивает большую устойчивость при пиковых нагрузках и снижает вероятность полного отказа в распределении. Моделирование различных сценариев показало, что при оптимальной настройке параметров перераспределения возможно достичь улучшения ключевых метрик - таких как среднее время пребывания заявки в системе и уровень удовлетворенности студентов. Таким образом, результаты подтверждают целесообразность использования гибридного подхода для автоматизации процессов организации производственной практики с учетом современных требований цифровой трансформации.

**Выводы**. Исследование было направлено на построение и сравнительный анализ моделей распределение заявок по множеству ресурсов для оптимизации работ системы по обслуживанию. Классическая модель, основанная на случайном распределении, была дополнена улучшенной гибридной моделью, в которой учитывается текущая загрузка ресурсов при принятии решении распределения. Проведенное исследование показывает, что внедрение даже простейшего механизмов динамической адаптации позволяет существенно снизить среднее время пребывания заявок в системе. Анализ плотностей распределения времени пребывания в системе подтвердил преимущества предложенной модели - повышением эффективности использования ресурсов.

В данной работе реализована модель, имитирующая работу реальной распределяющей системы с учетом массовости процессов, динамических ограничений и реалистичного взаимодействия участников. Имитация реального административного процесса: согласование, отказ, перераспределение может быть легко встроена в интеграцию с цифровыми платформами вуза. Используемый подход позволяет учитывать не только логическую сторону распределения, но и аспекты оптимальности выбора с обеих сторон - студента и организации. Это особенно актуально в условиях цифровой трансформации образования и растущей потребности вузов к интеграции с внешними профессиональными структурами. Представленная модель будет применена как основа для разработки цифровой платформы автоматизированного распределения студентов по организациям для прохождения производственной практики.

Представленные результаты будут применены для при разработке и оптимизации информационной системы автоматизированного распределения, в том числе, в задачах управления потоками в образовательной и производственной сферах и их взаимодействия. Перспективным направлением дальнейших исследований будет интеграция адаптивных методов и методов машинного обучения в рассматриваемую модель, а также масштабирование решения для обработки больших данных в реальном времени.

***Примечание****: В процессе подготовки статьи использовались инструменты искусственного интеллекта, в том числе языковая модель GPT-4, предоставляемая OpenAI. Модель использовалась исключительно для помощи в редактировании текста и структурировании научного изложения* [22]*.*

**Литература**

1. Balakayeva G.T., Ezhichelvan P., Tursynkozha M.K. Analysis, research and development of an innovative enterprise digitalization system for remote work // International Journal of Mathematics and Physics. - 2022. - Vol. 13(1). - P. 19-29. DOI [10.26577/ijmph.2022.v13.i1.02](https://doi.org/10.26577/ijmph.2022.v13.i1.02).

2. Дворяткина С.Н., Прокуратова О.Н. Марковские процессы и простейшие модели теории массового обслуживания. - М.: ФЛИНТА, 2019. - 80 с. ISBN 978-5-9765-4828-2.

3. Massyrova I., Joldasbayev O., Joldasbayev S., Bolysbek A., Mambetov S. Automation of the system for industrial practice and internships for students in organizations outside of the university // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physico-Mathematical Series. – 2025. – № 1. – P. 168–184. DOI [10.32014/2025.2518-1726.332](https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.332).

4. Самусевич Г. Моделирование процессов функционирования СМО. Учебное пособие для вузов. - Litres, 2021. - 112 c. ISBN: 9785534142556.

5. Кузнецова И.А. Дистанционное обучение как система массового обслуживания // Вестник евразийской науки.-2011.-№2(7).[http://naukovedenie.ru](http://naukovedenie.ru/).- Дата обращения: 03.03.2025).

6. Лобашев В.Д. Элементы системы массового обслуживания в управлении учебным процессом // Проблемы современного педагогического образования. - 2023. - № 78-1.-C.226-229.

7. Mukherjee A., De D., Buyya R. Cloud Computing Resource Management // In: book:Resource Management in Distributed Systems.– Singapore: Springer, 2024.-P. 17-37. DOI [10.1007/978-981-97-2644-8\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-97-2644-8_2).

8. Joldasbayev S., Balakayeva G., Joldasbayev O. Application of load balancing algorithms to improve the quality of service delivery using modifications of the least connections algorithm // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. - 2020. - Vol. 98(12). - P. 2063–2077. ISSN 1992-8645.

9. Arcinas M.M., Meenakshi M., Bahalkar P.S., Bhaturkar D., Lalar S., Rane K.P., Raghuvanshi A. An efficient course recommendation system for higher education students using machine learning techniques // Bulletin of Electrical Engineering and Informatics.- 2025.-Vol.14(2). - P. 1468–1475. DOI [10.11591/eei.v14i2.7711](https://doi.org/10.11591/eei.v14i2.7711).

10. Ishii K., Tamaki K. Automation in Education/Learning Systems // In: Nof S. (ed.) Springer Handbook of Automation. Springer Handbooks. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. – P. 1503–1527. DOI [10.1007/978-3-540-78831-7\_85](https://doi.org/10.1007/978-3-540-78831-7_85).

11. Aldiab A., Chowdhury H., Kootsookos A., Alam F., Allhibi H. Utilization of Learning Management Systems (LMSs) in higher education system: A case review for Saudi Arabia // Energy Procedia.- 2019. -Vol. 160. -P. 731-737. DOI [10.1016/j.egypro.2019.02.186](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.186).

12. Rabiman R., Nurtanto M., Kholifah N. Design and Development E-Learning System by Learning Management System (LMS) in Vocational Education // Online Submission. – 2020. – Vol. 9(1). - P. 1059-1063.

13. Juhaňák L., Zounek J., Rohlíková L. Using process mining to analyze students' quiz-taking behavior patterns in a learning management system // Computers in Human Behavior.- 2019. - Vol. 92. - P. 496-506. DOI [10.1016/j.chb.2017.12.015](https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.015).

14. Chick R.C., Clifton G.T., Peace K.M., Propper B.W., Hale D.F., Alseidi A.A., Vreeland T.J. Using technology to maintain the education of residents during the COVID-19 pandemic // Journal of Surgical Education. - 2020. - Vol. 77(4). - P. 729-732. DOI [10.1016/j.jsurg.2020.03.018](https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2020.03.018).

15. Frolova M.A., Razumova T.A. The use of process approach to base the need of automation of business processes in educational institutions // AIP Conference Proceedings. - 2017. - Vol. 1797(1). - P. 040004-1–040004-8. DOI [10.1063/1.4972460](https://doi.org/10.1063/1.4972460).

16. Eriksen S.D. TQM and the transformation from an élite to a mass system of higher education in the UK//Quality Assurance in Education.-1995.-Vol.3(1).-P.14–29.DOI [10.1108/09684889510146795](https://doi.org/10.1108/09684889510146795).

17. Pham D.T., Jaaron A.A.M. Design for Mass Customisation in Higher Education: a Systems-Thinking Approach // Systemic Practice and Action Research. - 2018. -Vol. 31. - P. 293-310. DOI [10.1007/s11213-017-9426-7](https://doi.org/10.1007/s11213-017-9426-7).

18. Dabirian S., Abbaspour S., Khanzadi M., Ahmadi M. Dynamic modelling of human resource allocation in construction projects // International Journal of Construction Management. - 2019. - Vol. 22(2). - P. 182-191. DOI [10.1080/15623599.2019.1616411](https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1616411).

19. Brudner A., Gavious A. A dynamic model of investment in research and teaching facilities in academic institutions // Annals of Operations Research. - 2024.-Vol.343.-P. 67-85. DOI [10.1007/s10479-024-06232-w](https://doi.org/10.1007/s10479-024-06232-w).

20. Ly O.R., Boko U.H.S., Gueye K., Ouya S. Proposal of a Dynamic Resource Allocation Solution for Virtual Classroom Platforms // In: Auer M., Hortsch H., Sethakul P. (eds) The Impact of the 4th Industrial Revolution on Engineering Education. ICL 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1135. - P. 59-68. DOI [10.1007/978-3-030-40271-6\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-40271-6_7).

21. Donyina A. Stochastic Modelling and Simulation of Dynamic Resource Allocation // In: Ehrig H., Rensink A., Rozenberg G., Schürr A. (eds) Graph Transformations. ICGT 2010. Lecture Notes in Computer Science. – Berlin, Heidelberg: Springer.- 2010.-Vol. 6372. - P. 388-390. DOI [10.1007/978-3-642-15928-2\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-642-15928-2_28).

22. OpenAI. ChatGPT (GPT-4) Language Model. OpenAI. - 2023. - URL: <https://chat.openai.com>. Intended use: language editing and grammar checking.GPT-4. Модель использовалась исключительно для помощи в редактировании текста и структурирова-

нии научного изложения.-Дата обращения: 06.10.2025.

**References**

1. Balakayeva G.T., Ezhichelvan P., Tursynkozha M.K. Analysis, research and development of an innovative enterprise digitalization system for remote work // International Journal of Mathematics and Physics. - 2022. - Vol. 13(1). - P. 19-29. DOI [10.26577/ijmph.2022.v13.i1.02](https://doi.org/10.26577/ijmph.2022.v13.i1.02).

2. Dvorjatkina S.N., Prokuratova O.N. Markovskie processy i prostejshie modeli teorii massovogo obsluzhivanija. - M.: FLINTA, 2019. - 80 s. ISBN 978-5-9765-4828-2. [in Russian]

3. Massyrova I., Joldasbayev O., Joldasbayev S., Bolysbek A., Mambetov S. Automation of the system for industrial practice and internships for students in organizations outside of the university // News of the National Academy of Sciences of the Republic of Kazakhstan. Physico-Mathematical Series. – 2025. – № 1. – P. 168–184. DOI [10.32014/2025.2518-1726.332](https://doi.org/10.32014/2025.2518-1726.332).

4. Samusevich G. Modelirovanie processov funkcionirovanija SMO. Uchebnoe posobie dlja vuzov. - Litres, 2021. - 112 c. ISBN: 9785534142556. [in Russian]

5. Kuznecova I.A. Distancionnoe obuchenie kak sistema massovogo obsluzhivanija // Vestnik evrazijskoj nauki.-2011.-№2(7).http://naukovedenie.ru.- Data obrashhenija: 03.03.2025). [in Russian]

6. Lobashev V.D. Jelementy sistemy massovogo obsluzhivanija v upravlenii uchebnym processom // Problemy sovremennogo pedagogicheskogo obrazovanija. - 2023. - № 78-1.-C.226-229. [in Russian]

7. Mukherjee A., De D., Buyya R. Cloud Computing Resource Management // In: book:Resource Management in Distributed Systems.– Singapore: Springer, 2024.-P. 17-37. DOI [10.1007/978-981-97-2644-8\_2](https://doi.org/10.1007/978-981-97-2644-8_2).

8. Joldasbayev S., Balakayeva G., Joldasbayev O. Application of load balancing algorithms to improve the quality of service delivery using modifications of the least connections algorithm // Journal of Theoretical and Applied Information Technology. - 2020. - Vol. 98(12). - P. 2063–2077. ISSN 1992-8645.

9. Arcinas M.M., Meenakshi M., Bahalkar P.S., Bhaturkar D., Lalar S., Rane K.P., Raghuvanshi A. An efficient course recommendation system for higher education students using machine learning techniques // Bulletin of Electrical Engineering and Informatics.- 2025.-Vol.14(2). - P. 1468–1475. DOI [10.11591/eei.v14i2.7711](https://doi.org/10.11591/eei.v14i2.7711).

10. Ishii K., Tamaki K. Automation in Education/Learning Systems // In: Nof S. (ed.) Springer Handbook of Automation. Springer Handbooks. – Berlin, Heidelberg: Springer, 2009. – P. 1503–1527. DOI [10.1007/978-3-540-78831-7\_85](https://doi.org/10.1007/978-3-540-78831-7_85).

11. Aldiab A., Chowdhury H., Kootsookos A., Alam F., Allhibi H. Utilization of Learning Management Systems (LMSs) in higher education system: A case review for Saudi Arabia // Energy Procedia.- 2019. -Vol. 160. -P. 731-737. DOI [10.1016/j.egypro.2019.02.186](https://doi.org/10.1016/j.egypro.2019.02.186).

12. Rabiman R., Nurtanto M., Kholifah N. Design and Development E-Learning System by Learning Management System (LMS) in Vocational Education // Online Submission. – 2020. – Vol. 9(1). - P. 1059-1063.

13. Juhaňák L., Zounek J., Rohlíková L. Using process mining to analyze students' quiz-taking behavior patterns in a learning management system // Computers in Human Behavior.- 2019. - Vol. 92. - P. 496-506. DOI [10.1016/j.chb.2017.12.015](https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.12.015).

14. Chick R.C., Clifton G.T., Peace K.M., Propper B.W., Hale D.F., Alseidi A.A., Vreeland T.J. Using technology to maintain the education of residents during the COVID-19 pandemic // Journal of Surgical Education. - 2020. - Vol. 77(4). - P. 729-732. DOI [10.1016/j.jsurg.2020.03.018](https://doi.org/10.1016/j.jsurg.2020.03.018).

15. Frolova M.A., Razumova T.A. The use of process approach to base the need of automation of business processes in educational institutions // AIP Conference Proceedings. - 2017. - Vol. 1797(1). - P. 040004-1–040004-8. DOI [10.1063/1.4972460](https://doi.org/10.1063/1.4972460).

16. Eriksen S.D. TQM and the transformation from an élite to a mass system of higher education in the UK//Quality Assurance in Education.-1995.-Vol.3(1).-P.14–29.DOI [10.1108/09684889510146795](https://doi.org/10.1108/09684889510146795).

17. Pham D.T., Jaaron A.A.M. Design for Mass Customisation in Higher Education: a Systems-Thinking Approach // Systemic Practice and Action Research. - 2018. -Vol. 31. - P. 293-310. DOI [10.1007/s11213-017-9426-7](https://doi.org/10.1007/s11213-017-9426-7).

18. Dabirian S., Abbaspour S., Khanzadi M., Ahmadi M. Dynamic modelling of human resource allocation in construction projects // International Journal of Construction Management. - 2019. - Vol. 22(2). - P. 182-191. DOI [10.1080/15623599.2019.1616411](https://doi.org/10.1080/15623599.2019.1616411).

19. Brudner A., Gavious A. A dynamic model of investment in research and teaching facilities in academic institutions // Annals of Operations Research. - 2024.-Vol.343.-P. 67-85. DOI [10.1007/s10479-024-06232-w](https://doi.org/10.1007/s10479-024-06232-w).

20. Ly O.R., Boko U.H.S., Gueye K., Ouya S. Proposal of a Dynamic Resource Allocation Solution for Virtual Classroom Platforms // In: Auer M., Hortsch H., Sethakul P. (eds) The Impact of the 4th Industrial Revolution on Engineering Education. ICL 2019. Advances in Intelligent Systems and Computing. – Cham: Springer, 2020. – Vol. 1135. - P. 59-68. DOI [10.1007/978-3-030-40271-6\_7](https://doi.org/10.1007/978-3-030-40271-6_7).

21. Donyina A. Stochastic Modelling and Simulation of Dynamic Resource Allocation // In: Ehrig H., Rensink A., Rozenberg G., Schürr A. (eds) Graph Transformations. ICGT 2010. Lecture Notes in Computer Science. – Berlin, Heidelberg: Springer.- 2010.-Vol. 6372. - P. 388-390. DOI [10.1007/978-3-642-15928-2\_28](https://doi.org/10.1007/978-3-642-15928-2_28).

22. OpenAI. ChatGPT (GPT-4) Language Model. OpenAI. - 2023. \* URL: <https://chat.openai.com>. Intended use: language editing and grammar checking. *GPT-4* The model was used exclusively to assist in editing the text and structuring the scientific presentation(accessed: 06.10.2025).

***Сведения об авторах***

Масырова И. - магистр, ассистент-профессор, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан, e-mail: [i.massyrova@iitu.edu.kz](mailto:i.massyrova@iitu.edu.kz);

Джолдасбаев С.К. - магистр, ассистент-профессор, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан, e-mail: [s.joldasbayev@iitu.edu.kz](mailto:s.joldasbayev@iitu.edu.kz);

Гизатуллина А.Р. - cтудент 4-курса, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан, e-mail: [gizatullina.alyana@mail.ru](mailto:gizatullina.alyana@mail.ru);

Жанадилов М.Ж. - cтудент 4-курса, Международный университет информационных технологий, Алматы, Казахстан, e-mail: [madiyar20032009@gmail.com](mailto:madiyar20032009@gmail.com);

Джолдасбаев О.К. PhD, старший преподаватель филиала академии государственного управления при Президенте РК по Алматинской области, Конаев, Казахстан, e-mail: [orynbassarjoldasbayev@gmail.com](mailto:orynbassarjoldasbayev@gmail.com);

Орманбекова А.А. – PhD, Алматинский технологический университет, Алматы, Казахстан, e-mail: [a.ormanbekova@atu.edu.kz](mailto:a.ormanbekova@atu.edu.kz);

Мамбетов С.Т. – магистр технических наук,Университет «Туран», Алматы, Казахстан, e-mail: [s.mambetov@turan-edu.kz](mailto:s.mambetov@turan-edu.kz);

***Information about the authors***

Massyrova I. - Master, Assistant Professor, International IT University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [i.massyrova@iitu.edu.kz](mailto:i.massyrova@iitu.edu.kz);

Joldasbayev S. - MSc, Assistant Professor, International IT University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [s.joldasbayev@iitu.edu.kz](mailto:s.joldasbayev@iitu.edu.kz);

Gizatullina A. - Student, International IT University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [gizatullina.alyana@mail.ru](mailto:gizatullina.alyana@mail.ru);

Zhanadilov M. - Student, International IT University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [madiyar20032009@gmail.com](mailto:madiyar20032009@gmail.com);

Joldasbayev O. - PhD, Senior Lecturer of the branch of the Academy of Public Administration under the president of the Republic of Kazakhstan in Almaty region, Konayev, Kazakhstan, e-mail: [orynbassarjoldasbayev@gmail.com](mailto:orynbassarjoldasbayev@gmail.com);

Ormanbekova A. - PhD, Almaty Technological University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [a.ormanbekova@atu.edu.kz](mailto:a.ormanbekova@atu.edu.kz);

Mambetov S.- Master of Technical Sciences, , Turan University, Almaty, Kazakhstan, e-mail: [s.mambetov@turan-edu.kz](mailto:s.mambetov@turan-edu.kz).

ҒТАМР 50.13.13

**SLM ӘДІСІМЕН ҮШ ӨЛШЕМДІ ОБЪЕКТІНІ ҚАЛЫПТАСТЫРУ ПРОЦЕСІН АВТОМАТТАНДЫРУҒА АРНАЛҒАН БАҒДАРЛАМАЛЫҚ-ТЕХНИКАЛЫҚ ҚҰРЫЛҒЫЛАР**

**1А.Д. Тулегулов**[D:\Desktop\иконка.png](http://orcid.org/0000-0002-1195-6919)**, 1К.М. Акишев**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0001-5202-3501)**🖂, 1А.М. Джумагалиева**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0001-8632-5209)**, 2М.А. Байжарикова**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0000-0003-1591-2697)**,**

**2С.М. Исаев**[D:\Desktop\иконка.png](https://orcid.org/0009-0008-0988-0952)

*1Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан,*

*2М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан*

**🖂**Корреспондент-автор: [akmail04cx@mail.ru](mailto:akmail04cx@mail.ru)

Қазіргі жағдайда автоматтандырылған бағдарламаланатын автономды өндірістік жүйелерді құру қажеттілігі әсіресе әскери және далалық инженерлік бөлімшелер үшін өзекті болып отыр. Дәстүрлі селективті лазерлік балқыту қондырғылары (SLM), алынған өнімдердің жоғары дәлдігі мен сапасына қарамастан, дизайнның күрделілігіне, компоненттердің қымбаттығына және қоршаған орта параметрлеріне жоғары сезімталдыққа байланысты зертханалық жағдайлардан тыс жұмыс істеуге жарамсыз. Осыған байланысты мақалада SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесін автоматтандыру үшін бағдарламалық-техникалық құралдарды зерттеу мақсаты қойылған. Бұл өз кезегінде шектеулі ресурстар мен мамандандырылған Инфрақұрылым болмаған жағдайда металл бөлшектерін қалпына келтіруді және өндіруді қамтамасыз етуге қабілетті далалық және әскери жағдайларда пайдалануға бағытталған қосымша қондырғыны одан әрі құру үшін жағдай жасайды.

**Түйін сөздер:** бағдарламалау, аддитивті технологиялар, Автоматтандыру, алгоритм, ұнтақ, G-code.

**ПРОГРАММНО-ТЕХНИЧЕСКИЕ УСТРОЙСТВА ДЛЯ АВТОМАТИЗАЦИИ ПРОЦЕССА ФОРМИРОВАНИЯ ТРЕХМЕРНОГО ОБЪЕКТА МЕТОДОМ SLM**

**1А.Д. Тулегулов, 1К.М. Акишев🖂, 1А.М. Джумагалиева, 2М.А. Байжарикова,**

**2С.М. Исаев**

*1Казахский университет технологии и бизнеса имени К. Кулажанова, Астана, Казахстан,*

*2Таразский университет имени М.Х. Дулати, Тараз, Казахстан,*

e-mail:[akmail04cx@mail.ru](mailto:akmail04cx@mail.ru)

В современных условиях необходимость создания автоматизированных программируемых автономных производственных систем становится особенно актуальной для военных и полевых инженерных подразделений. Традиционные установки селективного лазерного плавления (SLM), несмотря на высокую точность и качество получаемых изделий, практически непригодны для эксплуатации вне лабораторных условий из-за сложности конструкции, дороговизны компонентов и высокой чувствительности к параметрам среды. В связи с этим в статье поставлена цель исследовать программно-технические средства для автоматизации процесса формирования трехмерного объекта методом SLM. Это в свою очередь обеспечит условия для создания в дальнейшем аддитивной установки, ориентированной на использование в полевых и военных условиях, способную обеспечивать восстановление и изготовление металлических деталей в условиях ограниченных ресурсов и отсутствия специализированной инфраструктуры.

**Ключевые слова:** программирование, аддитивные технологии, автоматизация, алгоритм, порошок, G-code.

**SOFTWARE AND TECHNICAL DEVICES FOR AUTOMATING THE PROCESS OF FORMING A THREE-DIMENSIONAL OBJECT USING THE SLM METHOD**

**1А.D. Тulegulov, 1К.М. Аkishev🖂, 1А.М. Jumagaliyeva, 2М.А. Baizharikova,**

**2S.М. Issayev**

*1K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan,*

*2M.Kh. Dulati Taraz University, Taraz, Kazakhstan,*

e-mail:[akmail04cx@mail.ru](mailto:akmail04cx@mail.ru)

In modern conditions, the need to create automated, programmable, and autonomous production systems is becoming particularly relevant for military and field engineering units. Traditional selective laser melting (SLM) systems, despite their high accuracy and quality, are practically unsuitable for use outside of laboratory settings due to their complex design, expensive components, and sensitivity to environmental parameters. Therefore, this article aims to explore software and hardware solutions for automating the process of creating three-dimensional objects using SLM. This, in turn, will provide the conditions for the further development of an additive manufacturing system designed for use in field and military environments, capable of restoring and manufacturing metal parts in the face of limited resources and a lack of specialized infrastructure.

**Key words.** programming, additive technologies, automation, algorithm, powder, G-code.

**Кіріспе.** Қазіргі жағдайда автоматтандырылған бағдарламаланатын автономды өндірістік жүйелерді құру қажеттілігі әсіресе әскери және далалық инженерлік бөлімшелер үшін өзекті болып отыр. Дәстүрлі селективті лазерлік балқыту қондырғылары (SLM), алынған өнімдердің жоғары дәлдігі мен сапасына қарамастан, дизайнның күрделілігіне, компоненттердің қымбаттығына және қоршаған орта параметрлеріне жоғары сезімталдыққа байланысты зертханалық жағдайлардан тыс жұмыс істеуге жарамсыз [1]. Осыған байланысты мақалада SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесін автоматтандыру үшін бағдарламалық-техникалық құралдарды зерттеу мақсаты қойылған. Бұл өз кезегінде шектеулі ресурстар мен мамандандырылған Инфрақұрылым болмаған жағдайда металл бөлшектерін қалпына келтіруді және өндіруді қамтамасыз етуге қабілетті далалық және әскери жағдайларда пайдалануға бағытталған қосымша қондырғыны одан әрі құру үшін жағдай жасайды [2].

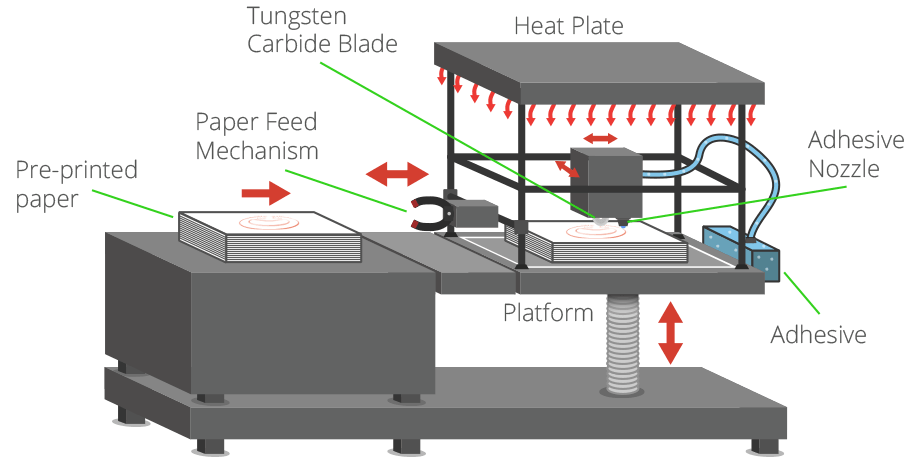
Осы мақсатқа жету үшін келесі міндеттерді шешу қажет:

1. SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесін эксперименттік зерттеу нәтижелеріне жүйелі талдау жүргізу.

2. SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесін автоматтандыру үшін бағдарламалық-техникалық құрылғыларды әзірлеу.

3. Инновациялық бағдарламалық-техникалық шешімдерді ескере отырып, аддитивті қондырғының прототипін негіздеу

**Материалдар мен әдістер.** Біз SLM әдісімен үш өлшемді объектілерді қабаттастыру процесін эксперименттік зерттеу нәтижелеріне талдау жасадық, олардың негізінде түйіршіктері еркін пішінді және 3D басып шығару процесі түйіршіктердің қаптамасының тығыздығын бұзатын және лазерлік энергияның фокус нүктесінде металл ұнтағының көлемдік шөгуі мен біркелкі емес балқуы байқалады, бұл басып шығарылатын бөліктің сапасын төмендетеді (сурет.1).



**1-сурет. Селективті лазерлік балқытуды орнату (SLM)**

Әдетте іс жүзінде бұл мәселені шешу ұнтақтардың екі түрін қолдану арқылы ұсынылады:

1-еркін нысандағы металл ұнтағы (бұдан әрі-ПФФ);

2-пішіні идеалды сфераға жақын сферитизатормен қосымша өңдеуден өткен металл ұнтағы - сфералық пішінді ұнтақ (бұдан әрі-ПСФ).

Зерттеуде 2 сатыда орындалатын 3D қабатты басып шығару әдісі қолданылды:

1 кезең-PPF-ті басып шығару бетіне тарату, содан кейін металл ұнтағын іріктеп лазерлік балқыту.

2 кезең-PSF-ті басып шығару бетіне қазірдің өзінде жүргізілген таңдамалы лазерлік балқытумен, қайталама таңдамалы лазерлік балқытумен тарату.

Бірінші кезеңде объектінің негізгі қабаты қалыптасады. Ұнтақ түрінің еріктілігіне байланысты түйіршіктердің бос қаптамасы пайда болады, ал лазерлік сәулемен өңдеу орындарында шөгу пайда болады [3].

Екінші кезеңде PSF түсуі пайда болған орындар толтырылады. Ұнтақтың пішініне байланысты идеалды PSF сферасына жақын, сондай-ақ PSF түйіршіктерінің радиусы бірдей болғандықтан, шөгу орындарында тараған кезде тығыз толтыру пайда болады. Лазермен өңдеу кезінде PFS іс жүзінде кішіреймейді [4].

Осылайша, металл ұнтағы формасының еріктілігі өтеледі. Екі кезеңді орындау нәтижесінде объект ақаусыз басып шығарылады.

Сфералық және еркін пішінді қолдана отырып, селективті лазерлік балқыту әдісімен үш өлшемді объектіні синтездеу әдісінің техникалық нәтижесіне басып шығару бетіне ұнтақ таратқыштардың екі контейнерін қолдану арқылы қол жеткізіледі.

Бұл әдіске Рег өнертабысына Патент алуға өтінім берілді. өтінім нөмірі 2025/0348.1, 16.04.2025 ж. сфералық және еркін пішінді металл ұнтақтарын қолдана отырып, селективті лазерлік балқыту әдісімен үш өлшемді объектіні синтездеу тәсілі.

**Нәтижелер мен талқылаулар.** Нәтижесінде, осы ғылыми мақалада біз металл ұнтағының пішінінің сфералық емес және гетерогенділігінің баспа сапасына әсерін өтеуге арналған бағдарламалық-техникалық құрылғыларды ұсынамыз [5].

Бастапқыда, зерттеу бағытына сәйкес, аддитивті қондырғы Төтенше жағдайлар мен соғыс жағдайларын қанағаттандыруы керек деп болжануда, сондықтан біз стандартты аддитивті қондырғылардың функционалдығының техникалық дизайнына талдау жасадық, нәтижесінде оларды далада қолдануға кедергі келтіретін екі негізгі проблема анықталды:

1) басып шығару камерасына металл ұнтағын берудің дәл механикасына тәуелділік;

2) Дайын бөлікті шығарудың және платформаны келесі циклге дайындаудың қиындығы.

Бірінші мәселе дәстүрлі SLM қондырғыларының ұнтақты дәл жеткізуге тәуелділігіне байланысты. Қабатты қалыптастыру цилиндрлер мен ұнтақты тарату жүйесін қолдану арқылы жүреді, бұл ұнтақтың ондаған микронға дейін біркелкі таралуын қамтамасыз етеді.

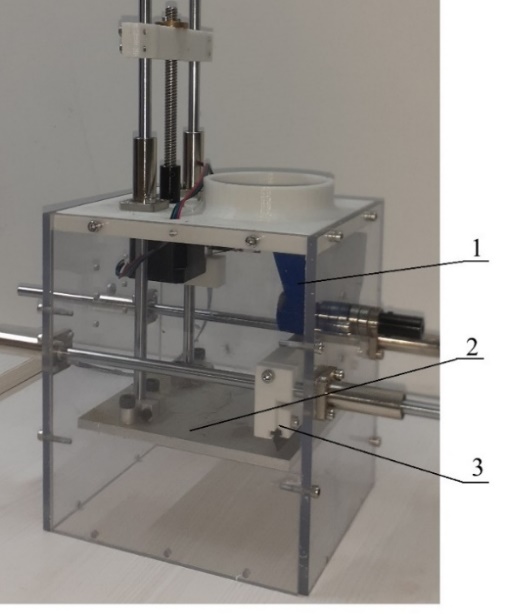
Екінші мәселе басып шығару циклін аяқтау процесінің шектеулеріне байланысты. Өнімді қалыптастырғаннан кейін көп сатылы операция қажет: бөлшекті байланыссыз ұнтақтан тазарту, оны платформадан ұқыпты бөлу (көбінесе электр эрозиясын немесе гауһар кесуді қолдану), сондай-ақ платформаның бетін міндетті түрде фрезерлеу. Себебі платформада қалдық балқымалар, термиялық деформациялар пайда болады, бұл оны қосымша механикалық өңдеусіз қайта пайдалануға жол бермейді [6].

Ұнтақ қабатын қалыптастырудың балама тәсілдерін іздеу аясында сусымалы ортаға тән физикалық принциптерді қолдану мүмкіндігі қарастырылды. Өздігінен құю процесінде ұнтақтар табиғи беткейге тән бұрышы бар тұрақты бетті құрайтыны белгілі. Мұндай бет қолданылатын материалдың пішініне, массасына және динамикасына автоматты түрде бейімделіп, өзін-өзі тегістеу және бейімделу тұрақтандыру қабілетін көрсетеді. Бұл механикалық бөлімге, фрезерлеуге немесе негізді туралауға жүгінбестен металды жағуға және балқытуға болатын ашық борпылдақ жастықтың пайдасына жаппай қатты платформадан бас тартуға мүмкіндік береді [7].

Осы негізде инновациялық шешімдер кешені ұсынылды: "толып кету және өзін-өзі теңестіру"қағидаты бойынша мөлшерлеу. Ұсынылған шешімдер қарапайымдылықты, жөндеуге жарамдылықты және далалық пайдалану үшін маңызды шығындарды сақтай отырып, тығыздық пен қайталануды арттыруға бағытталған.

Бұл тәсіл ұнтақтардың екі түрін қолдануды техникалық іске асыруды жеңілдетеді: еркін пішінді металл ұнтағы (бұдан әрі-пфф) және сфералық пішінді ұнтақ (бұдан әрі-ПФФ). Ашық бетті басып шығару PPF және PSF бөлек сақтау сыйымдылықтарын ұнтақты тегістеу жүйесіне біріктіруді айтарлықтай жеңілдетеді.

Жоғарыда сипатталған технологияны пысықтау үшін контейнерді әртүрлі сортты металл ұнтақтарымен біріктіру мүмкіндігін анықтау үшін зертханалық қондырғы жасалды, онда ашық көлденең бетке басып шығару мүмкіндігі тексерілді (сурет. 2).



**2-сурет. Қабатты механизмді өңдеуге арналған зертханалық қондырғы**

**ашық көлденең бетінде ұнтақ материал қалыптастыру**

1*-металл ұнтағы контейнері; 2-ашық көлденең беті; 3-ұнтақты тегістеуге арналған қырғыш*

Экструзия және лазерлік балқу процестерінің физикалық және логикалық ұқсастығы бар микробағдарламаларды макростар арқылы өзгерту, G-code командаларын қайта бөлу және экструдерді лазерлік модульге ауыстыру үшін конфигурацияларды қайта конфигурациялау арқылы пайдалануға мүмкіндік береді [8]. Бұл тәсіл дәлелденген архитектуралар мен жоспарлау алгоритмдерін қайта пайдалануды қамтамасыз етеді (сурет.3)

;Layer count: 121

;LAYER:0

GO F3600 X66.354 Y67.539 Z0.300

;TYPE:SKIRT

G1 F1200 X99.570 Y97.539 E0.45381

G1 X99.743 Y97.444 E0.42765

G1 X100.546 Y67.324 E0.46545

G1 X101.657 Y77.674 E0.47685

G1 X102.573 Y97.564 E0.42789

G1 X103.745 Y97.235 E0.48765

G1 X104.456 Y97.546 E0.52345

G1 X105.756 Y97.436 E0.67845

G1 X106.564 Y97.476 E0.59876

G1 X107.856 Y97.657 E0.87659

G1 X108.763 Y97.239 E0.67657

G1 X109.743 Y97.876 E0.34267

G1 X110.943 Y97.435 E0.87986

G1 X111.563 Y97.438 E0.54876

G1 X112.793 Y97.476 E0.65876

G1 X113.123 Y97.487 E0.76889

G1 X114.983 Y97.498 E0.65987

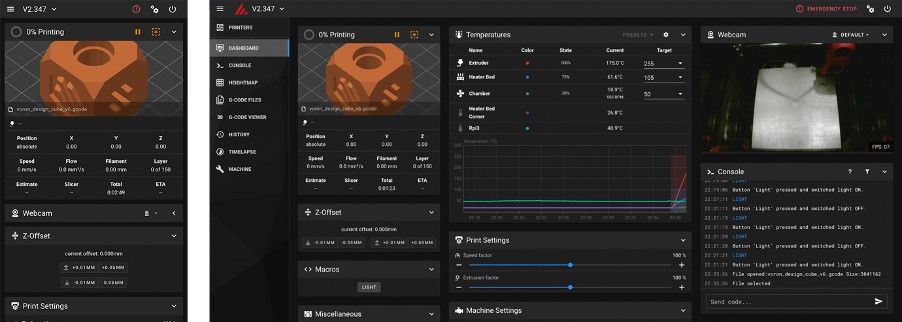
**3 - сурет. G-Code қолдану фрагменті**

Marlin, Repetier және Smoothieware сияқты танымал микробағдарламаларды талдау олардың селективті лазерлік балқыту сияқты күрделі технологиялық процестерді басқаруға арналмағанын көрсетті. Бұл жүйелер бастапқыда термопластикалық басып шығару үшін жасалған және көбінесе олардың архитектурасымен шектелген: қатаң берілген логика, кеңейтудің минималды мүмкіндіктері, сыртқы жетектерге әлсіз қолдау. Сонымен қатар, SLM үшін басқарудың басқа деңгейі қажет: траекторияларды дәл есептеу, лазерлік Қуат модуляциясымен жұмыс істеу, ұнтақтардың екі түрін беру және тегістеу түйіндерімен синхрондау. Осыған байланысты Klipper ортасы таңдамалы лазерлік балқытудың аддитивті қондырғысын жасау үшін негізгі бағдарламалық платформа ретінде таңдалды. Klipper микробағдарламасы негізінде басқарылатын селективті лазерлік балқыту қондырғысының прототипін енгізу ұсынылған архитектураның өнімділігін растады [9].

Klipper-бұл көптеген 3D басып шығарумен жұмыс істейтін әмбебап микробағдарлама. Klipper қолданыстағы микробағдарламаның үстіне орнатылмағандықтан, онымен жұмыс істеу үшін оны толығымен klipper микробағдарламасымен ауыстыру қажет.

*Желілік интерфейстер арқылы басқару*

Mainsail және Fluidd - бұл Klipper-мен жұмыс істеу үшін арнайы жасалған ашық бастапқы веб-интерфейстер [10].OctoPrint-ті қолдануға болатынына қарамастан, егер ол сізге таныс болса, Mainsail және Fluidd пайдаланушыға OctoPrint-те қол жетімді емес қосымша мүмкіндіктер береді.Mainsail. Mainsail веб-интерфейсі осылай көрінеді (сурет.4).

).

**4-сурет. Mainsail веб-интерфейсі**

Klipper-ді Linux отбасылық ОЖ басқаратын көптеген құрылғыларға орнатуға болады. Орнату және жұмыс істеу үшін Raspberry Pi микрокомпьютерлерін пайдалануға болады, бұл Klipper пайдаланушылары, сондай-ақ Orange Pi, Beaglebone немесе тіпті жұмыс үстелі компьютерлері арасында ең танымал таңдау [11].

Шын мәнінде, аталған типтегі кез-келген құрылғы нарықта бар кез-келген ашық сатылымдағы 3D принтермен жұмыс істеуі керек. Жабық жүйесі бар меншікті құрылғылардан басқа.

**Қорытынды.** Қорытындылай келе, қойылған мақсатқа қол жеткізілгенін атап өтуге болады. SLM әдісімен үш өлшемді объектіні қалыптастыру процесінің эксперименттік зерттеулерінің нәтижелеріне жүйелі талдау жүргізу, осындай міндеттер шешілді. SLM әдісімен үш өлшемді нысанды қалыптастыру процесін автоматтандыру үшін бағдарламалық-техникалық құрылғылар да әзірленді. Бұл өте маңызды инновациялық бағдарламалық-техникалық шешімдерді ескере отырып, аддитивті қондырғының прототипін әзірлеу үшін негіздеме берілді.

***Қаржыландыру.*** *Бұл зерттеуді ғылым және жоғары білім комитеті қаржыландырады (№АР23490424 "Қорғаныс өнеркәсібі үшін металл нысандарын жасау үшін аддитивті қондырғыны әзірлеу".)*

**Әдебиеттер**

1. Тулегулов А.Д., Юрков Н.К. Аддитивные технологии для создания металлических объектов для военной техники и вооружения//Вестник Академии национальной гвардии Республики Казахстан. - 2024. - № 3(53). - С. 151-157.

2. K. Akishev, Zh. Nurtai, L. Akisheva. Automation of selection of construction mix with additives of technogenic raw materials//Вестник КазУТБ. - 2025. - №1 (26). - С.1-14. DOI 10.58805/kazutb.v.1.26-808.

3. Зорин В.А., Полухин Е.В. Аддитивные технологии. Перспективы применения аддитивных технологий при производстве дорожно-строительных машин // Строительная техника и технологии. - 2016. - №3 (119). - С. 54-57.

4. Шевченко Д.Ю. Аддитивные технологии в машиностроении // Комплексные проблемы развития науки, образования и экономики региона: Научно-практический журнал Коломенского института (филиала) МГМУ (МАМИ). - 2015. - № 2 (7). - С. 89-97.

5. Сироткин О.С. Современное состояние и перспективы развития аддитивных технологий // Авиационная промышленность. - 2015. - № 2. - С. 22-25.

6.Смуров И.Ю., Конов С.Г., Котобан Д.В. О внедрении аддитивных технологий и производства в отечественную промышленность // Новости материаловедения. Наука и техника. - 2015. - № 2. - С. 11-22.

7. Советников Е.И. Оценки развития аддитивных технологий // Технология легких сплавов. - 2015. - № 3. - С. 17-31.

8. Дьячков В.Н., Баринов А.Ю., Никитин К.В. Применение аддитивных технологий в производстве литых изделий // Литейное производство. - 2016. - № 5. - С.30-32.

9. Аббасов А.Э. Перспективы развития аддитивных технологий // Информационные технологии. Радиоэлектроника. Телекоммуникации. - 2015. - № 5-1. - С. 21-26.

10. Кузнецов П.А., Васильева О.В., Теленков А.И., Савин В.И., Бобырь В.В. Аддитивные технологии на базе металлических порошковых материалов для российской промышленности // Новости материаловедения. Наука и техника. - 2015. - № 2. - С. 4-10.

11. Чумаков Д.М. Перспективы использования аддитивных технологий при создании авиационной и ракетно-космической техники // Труды МАИ. - 2014. - № 78. - С. 31-36.

**References**

1. Tulegulov A.D., Jurkov N.K. Additivnye tehnologii dlja sozdanija metallicheskih ob#ektov dlja voennoj tehniki i vooruzhenija//Vestnik Akademii nacional'noj gvardii Respubliki Kazahstan. - 2024. - № 3(53). - S. 151-157. [in Russian]

2. K. Akishev, Zh. Nurtai, L. Akisheva. Automation of selection of construction mix with additives of technogenic raw materials//Vestnik KazUTB. - 2025. - №1 (26). - S.1-14. DOI 10.58805/kazutb.v.1.26-808. [in Russian]

3. Zorin V.A., Poluhin E.V. Additivnye tehnologii. Perspektivy primenenija additivnyh tehnologij pri proizvodstve dorozhno-stroitel'nyh mashin // Stroitel'naja tehnika i tehnologii. - 2016. - №3 (119). - S. 54-57. [in Russian]

4. Shevchenko D.Ju. Additivnye tehnologii v mashinostroenii // Kompleksnye problemy razvitija nauki, obrazovanija i jekonomiki regiona: Nauchno-prakticheskij zhurnal Kolomenskogo instituta (filiala) MGMU (MAMI). - 2015. - № 2 (7). - S. 89-97. [in Russian]

5. Sirotkin O.S. Sovremennoe sostojanie i perspektivy razvitija additivnyh tehnologij // Aviacionnaja promyshlennost'. - 2015. - № 2. - S. 22-25. [in Russian]

6.Smurov I.Ju., Konov S.G., Kotoban D.V. O vnedrenii additivnyh tehnologij i proizvodstva v otechestvennuju promyshlennost' // Novosti materialovedenija. Nauka i tehnika. - 2015. - № 2. - S. 11-22. [in Russian]

7. Sovetnikov E.I. Ocenki razvitija additivnyh tehnologij // Tehnologija legkih splavov. - 2015. - № 3. - S. 17-31. [in Russian]

8. D'jachkov V.N., Barinov A.Ju., Nikitin K.V. Primenenie additivnyh tehnologij v proizvodstve lityh izdelij // Litejnoe proizvodstvo. - 2016. - № 5. - S.30-32. [in Russian]

9. Abbasov A.Je. Perspektivy razvitija additivnyh tehnologij // Informacionnye tehnologii. Radiojelektronika. Telekommunikacii. - 2015. - № 5-1. - S. 21-26. [in Russian]

10. Kuznecov P.A., Vasil'eva O.V., Telenkov A.I., Savin V.I., Bobyr' V.V. Additivnye tehnologii na baze metallicheskih poroshkovyh materialov dlja rossijskoj promyshlennosti // Novosti materialovedenija. Nauka i tehnika. - 2015. - № 2. - S. 4-10. [in Russian]

11. Chumakov D.M. Perspektivy ispol'zovanija additivnyh tehnologij pri sozdanii aviacionnoj i raketno-kosmicheskoj tehniki // Trudy MAI. - 2014. - № 78. - S. 31-36. [in Russian]

***Авторлар туралы мәліметтер***

Тулегулов А.Д.- физика-математика ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail:K[tad62@ya.ru](mailto:tad62@ya.ru);

Акишев К. М.-техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: [akmail04@mail.ru](mailto:akmail04@mail.ru);

Джұмағалиева А.М. -магистр, қауымдастырылған профессор, Қ. Құлажанов атындағы Қазақ технология және бизнес университеті, Астана, Қазақстан, e-mail: [Dzhum@mail.ru](mailto:Dzhum@mail.ru);

Байжарикова М.А. - техника ғылымдарының кандидаты. М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан, e-mail: [marina.2288@mail.ru](mailto:marina.2288@mail.ru);

Исаев С. М. - техника ғылымдарының магистрі. М. Х. Дулати атындағы Тараз университеті, Тараз, Қазақстан,e-mail: sagiissayev.1993kz@gmail.com.

***Information about the authors***

Tulegulov A.D. - Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: Ktad62@ya.ru;

Akishev K.M. - Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, K.Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: [akmail04@mail.ru](mailto:akmail04@mail.ru);

Jumagaliyeva A.M.- Master's degree, Associate Professor, K. Kulazhanov Kazakh University of Technology and Business, Astana, Kazakhstan, e-mail: [Dzhum@mail.ru](mailto:Dzhum@mail.ru);

Baizharikova M. A. - Candidate of Technical Sciences.M.Kh. Dulati Taraz University, Taraz, Kazakhstan, e-mail: marina.2288@mail.ru;

Issayev S. M. - Master of Technical Sciences.M.Kh. Dulati Taraz University, Taraz, Kazakhstan,

e-mail: sagiissayev.1993kz@gmail.com.