

YASSAWI

JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE

TURKISTAN 2026

ҚҰРЫЛТАЙШЫ:

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті

Журнал Қазақстан Республикасы Мәдениет және ақпарат министрлігі Ақпарат комитетінде 2026 жылдың 26 ақпанда тіркелген және «Мерзімді баспасөз басылымдарын, интернет-басылымдарды есепке қою туралы» № KZ44VPY00141439 куәлігі берілген.

Шығу жиілігі: 3 айда 1 рет.

Басылым тілдері: қазақша, түрікше, орысша, ағылшынша

Таралу аумағы: Қазақстан Республикасы, алыс және жақын шетел.

KURUCU:

Hoca Ahmet Yesevi Uluslararası Kazak-Türk Üniversitesi

Dergi, Kazakistan Cumhuriyeti Kültür ve Enformasyon Bakanlığı Enformasyon Komitesi tarafından 26 Şubat 2026 tarihinde tescil edilmiş olup, süreli basılı ve çevrimiçi yayınların kaydına ilişkin KZ44VPY00141439 numaralı sertifikaya sahiptir.

Yayın sıklığı: 3 ayda 1 kez.

Yayın dilleri: Kazakça, Türkçe, İngilizce, Rusça.

Dağıtım alanı: Kazakistan Cumhuriyeti, yakın ve uzak yurt dışı.

УЧРЕДИТЕЛЬ:

Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави

Журнал зарегистрирован в Комитете информации Министерства культуры и информации Республики Казахстан 26 февраля 2026 года и имеет свидетельство № KZ44VPY00141439.

«О регистрации периодических изданий, онлайн-публикаций»

Периодичность выхода: 1 раз в 3 месяца.

Языки издания: казахский, турецкий, английский, русский.

Территория распространения: Республика Казахстан, ближнее и дальнее зарубежье.

FOUNDER:

Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University

The journal was registered with the Information Committee of the Ministry of Culture and Information of the Republic of Kazakhstan on February 26, 2026 and was issued the registration certificate № KZ44VPY00141439 for periodical print and online publications.

Publication frequency: once every 3 months.

Languages of publication: Kazakh, Turkish, English, Russian.

Distribution area: Republic of Kazakhstan, near and far abroad.

РЕДАКЦИЯЛЫҚ АЛҚА МҮШЕЛЕРІ

Мамырбаев О.Ж.	- PhD, профессор /Қазақстан/
Жумадилаева А.К.	- тех.ғ.к., қауымд. профессор /Қазақстан/
Казбекова Г.Н.	- тех.ғ.к., қауымд. профессор /Қазақстан/
Айдын Четин	- доктор, профессор /Түркия/
Мухаммет Али Акчайол	- доктор, профессор /Түркия/
Каражан Хажер	- доктор, профессор /Түркия/
Исмаилова Рита	- доктор, доцент /Қырғызстан/
Омаров Б.С.	- PhD, қауымдастырылған профессор /Қазақстан/
Нажи Генч	- доктор, профессор /Қазақстан/
Эгамбердиев Б.Э.	- техн.ғ.д., профессор /Өзбекстан/
Абдимуратов Ж.С.	- PhD, доцент /Қазақстан/
Четин Генчер	- доктор, доцент /Қазақстан/
Турымбетова Г.Д.	- PhD, доцент /Қазақстан/
Абдуллаев Вугар	- PhD, доцент /Әзірбайжан/

DANIŞMA KURULU

Mamyrbayev O.Zh.	- PhD, Profesör /Kazakistan/
Zhumadillayeva A.K.	- Teknik Bilimler Adayı, Doçent /Kazakistan/
Kazbekova G.N.	- Teknik Bilimler Adayı, Doçent /Kazakistan/
Aydın Çetin	- Doktor, Profesör /Türkiye/
Muhammet Ali Akçayol	- Doktor, Profesör /Türkiye/
Karacan Hacer	- Doktor, Profesör /Türkiye/
Ismailova Rita	- Doktor, Doçent /Kırgızistan/
Omarov B.S.	- PhD, Doçent /Kazakistan/
Naci Genç	- Doktor, Profesör /Kazakistan/
Egamberdiev B.E.	- Teknik Bilimler Doktoru, Profesör /Özbekistan/
Abdimuratov Zh.S.	- PhD, Doçent /Kazakistan/
Çetin Gençer	- Doktor, Doçent /Kazakistan/
Turymbetova G.D.	- PhD, Doçent /Kazakistan/
Abdullaev Vugar	- PhD, Doçent /Azerbaycan/

РЕДАКЦИОННАЯ КОЛЛЕГИЯ

Мамырбаев О.Ж.	- PhD, профессор /Казахстан/
Жумадилаева А.К.	- канд. техн. наук, ассоц. профессор /Казахстан/
Казбекова Г.Н.	- канд. техн. наук, ассоц. профессор /Казахстан/
Айдын Четин	- доктор, профессор /Турция/
Мухаммет Али Акчайол	- доктор, профессор /Турция/
Каражан Хажер	- доктор, профессор /Турция/
Исмаилова Рита	- доктор, доцент /Кыргызстан/
Омаров Б.С.	- PhD, ассоциированный профессор /Казахстан/
Нажи Генч	- доктор, профессор /Казахстан/
Эгамбердиев Б.Э.	- доктор техн. наук, профессор /Узбекистан/
Абдимуратов Ж.С.	- PhD, доцент /Казахстан/
Четин Генчер	- доктор, доцент /Казахстан/
Турымбетова Г.Д.	- PhD, доцент /Казахстан/
Абдуллаев Вугар	- PhD, доцент /Азербайжан/

EDITORIAL BOARD

Mamyrbayev O.Zh.	- PhD, Professor /Kazakhstan/
Zhumadillayeva A.K.	- Candidate of Tech. Sc., Assoc. Prof. /Kazakhstan/
Kazbekova G.N.	- Candidate of Tech. Sc., Assoc. Prof. /Kazakhstan/
Aydın Çetin	- Doctor, Professor /Turkey/
Muhammet Ali Akçayol	- Doctor, Professor /Turkey/
Karacan Hacer	- Doctor, Professor /Turkey/
Ismailova Rita	- Doctor, Associate Professor /Kyrgyzstan/
Omarov B.S.	- PhD, Associate Professor /Kazakhstan/
Naci Genç	- Doctor, Professor /Kazakhstan/
Egamberdiev B.E.	- Doctor of Technical Sciences, Professor /Uzbekistan/
Abdimuratov Z.S.	- PhD, Associate Professor /Kazakhstan/
Çetin Gençer	- Doctor, Associate Professor /Kazakhstan/
Turymbetova G.D.	- PhD, Associate Professor /Kazakhstan/
Abdullayev Vugar	- PhD, Associate Professor /Azerbaijan/

Editorial Office Address:

29V B. Sattarkhanov Avenue,

Turkistan 161200, Republic of Kazakhstan

Contact numbers: +7 701 234 8885, +7 775 323 2299

Email: journal.engineering@ayu.edu.kz

Ы.Қ. АБДРАЗАХ¹, А.С. БАЙМАХАНОВА², Н.М. ЖУНИСОВ³, Ш.А. МИРЗАЛИЕВА⁴

Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан

¹ E-mail: yntymak.abdrakh@ayu.edu.kz*

² E-mail: aygerim.baymakhanova@ayu.edu.kz

³ E-mail: nurseit.zhunissov@ayu.edu.kz

⁴ E-mail: mirzalieva.shakhzoda2025@ayu.edu.kz

ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ УПРАЖНЕНИЙ, ПОДСЧЕТА ПОВТОРЕНИЙ И ОЦЕНКИ РАСХОДА КАЛОРИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ

Аннотация. Точный мониторинг физических упражнений важен для домашних тренировок, уроков физкультуры и дистанционной поддержки тренировок; однако ручной подсчет повторений часто ненадежен, а оценка калорий часто упрощается до общих формул, которые не отражают индивидуальные и специфические для вида деятельности вариации. В этом исследовании предлагается гибридная система на основе машинного зрения для распознавания упражнений, подсчета повторений и оценки расхода калорий по монокулярному видео. Предложенная система сочетает в себе извлечение поз без маркеров, классификацию состояний упражнений на основе ориентиров, подсчет повторений с учетом упражнений и модель расчета калорий на основе машинного обучения, учитывающую дескрипторы пользователя и вида деятельности. В предлагаемом алгоритме ориентиров тела извлекаются из видеок кадров и преобразуются в структурированные геометрические признаки, поддерживающие распознавание упражнений. Затем количество повторений оценивается по сглаженным траекториям углов суставов с использованием анализа пиков, специфичных для движения, а расход калорий определяется с помощью калиброванной регрессионной модели в сочетании с корректировкой интенсивности на основе движения. Итоговая модель оценки физических упражнений достигла точности 0,8883, сбалансированной точности 0,8950 и показателя макро-F1 0,8929. Модель расчета калорий показала среднюю абсолютную ошибку 2,1339, среднеквадратичную ошибку 3,6202 и значение R^2 0,9966. В ходе сквозного самотестирования видеозаписи были корректно распознаны репрезентативные фрагменты отжиманий и приседаний, количество повторений было правдоподобным, а оценки калорий оставались в пределах реалистичных кратковременных диапазонов. Эти результаты показывают, что предложенная гибридная структура может обеспечить интерпретируемое и практически применимое решение для мониторинга физических упражнений с помощью камеры без необходимости использования специального носимого оборудования или устройств захвата движений.

Ключевые слова: распознавание упражнений, подсчет повторений, оценка расхода калорий, анализ позы, компьютерное зрение, распознавание активности человека, мониторинг физической активности.

Ы.Қ. АБДРАЗАХ¹, А.С. БАЙМАХАНОВА², Н.М. ЖУНИСОВ³, Ш.А. МИРЗАЛИЕВА⁴

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан

¹ E-mail: yntymak.abdrakh@ayu.edu.kz*

² E-mail: aygerim.baymakhanova@ayu.edu.kz

³ E-mail: nurseit.zhunissov@ayu.edu.kz

⁴ E-mail: mirzalieva.shakhzoda2025@ayu.edu.kz

ГИБРИДТІ КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУ ҚАБІЛЕТІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ЖАТТЫҒУДЫ ТАҢУ, ҚАЙТАЛАУДЫ САНАУ ЖӘНЕ КАЛОРИЯ ШЫҒЫНЫН БАҒАЛАУ ЖҮЙЕСІ

Аңдатпа. Үйдегі жаттығулар, дене шынықтыру сабақтары және қашықтықтан оқытуды қолдау үшін жаттығуларды дәл бақылау өте маңызды; дегенмен, қайталауды қолмен санау көбінесе сенімсіз, ал калорияны бағалау көбінесе жеке және әрекетке тән вариацияларды көрсетпейтін жалпы формулаларға жеңілдетілген. Бұл зерттеуде монокулярлық бейнеден жаттығуларды тану, қайталауды санау және калория шығынын бағалау үшін гибриді компьютерлік көру жүйесін ұсынады. Ұсынылған жүйе маркерсіз қалып алуды, бағдарлық нүктеге негізделген жаттығу күйін жіктеуді, жаттығуды ескере отырып қайталауды санауды және пайдаланушы мен әрекет сипаттамаларын қамтитын машиналық оқытуға негізделген калория есептеу моделін біріктіреді. Ұсынылған алгоритмде дене бағдарлары бейне кадрлардан алынып, жаттығуды тануды қолдайтын құрылымдалған геометриялық ерекшеліктерге айналдырылады. Содан кейін қайталаулар саны қозғалысқа тән шыңдарды талдауды қолдана отырып, тегістелген буын бұрышының траекторияларынан бағаланады, ал калория шығыны қозғалысқа негізделген қарқындылықты реттеумен біріктірілген калибрленген регрессиялық модельді қолдана отырып анықталады. Соңғы жаттығуды бағалау моделі 0,8883 дәлдікке, 0,8950 теңгерімді дәлдікке және 0,8929 макро-F1 ұпайына қол жеткізді. Калорияны есептеу моделі орташа абсолютті қатені 2,1339, орташа квадраттық қатені 3,6202 және R^2 мәнін 0,9966 көрсетті. Бейнежазбаны толық өзін-өзі тексеру кезінде еденнен итерілу (отжимание) және отырып-тұру (присед) жаттығуларының типтік фрагменттері дұрыс танылды, қайталау саны сенімді болды және калория бағалаулары нақты қысқа мерзімді диапазондарда қалды. Бұл нәтижелер ұсынылған гибриді құрылым арнайы киілетін жабдықты немесе қозғалысты түсіру құрылғыларын қажет етпей, камераға негізделген жаттығуларды бақылау үшін түсіндірілетін және практикалық шешім ұсына алатынын көрсетеді.

Түйін сөздер: жаттығуларды тану, қайталауды санау, калория шығынын бағалау, дене бітімін талдау, компьютерлік көру, адамның қозғалысын тану, дене белсенділігін бақылау.

Y.K. ABDRAZAKH¹, A.S. BAIMAKHANOVA², N.M. ZHUNISOV³, Sh.A. MIRZALIEVA⁴

Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

¹ E-mail: yntymak.abdrakh@ayu.edu.kz*

² E-mail: aygerim.baymakhanova@ayu.edu.kz

³ E-mail: nurseit.zhunissov@ayu.edu.kz

⁴ E-mail: mirzalieva.shakhzoda2025@ayu.edu.kz

A HYBRID COMPUTER VISION-BASED SYSTEM FOR EXERCISE RECOGNITION, REP COUNTING, AND CALORIE BURN ESTIMATION

Abstract. Accurate exercise monitoring is essential for home workouts, physical education classes, and remote training support. However, manual rep counting is often unreliable, and calorie estimates are often simplified to generic formulas that fail to capture individual and activity-specific variations. This study proposes a hybrid computer vision-based system for exercise recognition, rep counting, and calorie burn estimation from monocular video. The proposed system

combines marker-free pose extraction, landmark-based exercise state classification, exercise-aware rep counting, and a machine-learning-based calorie calculation model that incorporates user and activity descriptors. The proposed algorithm extracts body landmarks from video frames and transforms them into structured geometric features that support exercise recognition. The number of repetitions is then estimated from smoothed joint angle trajectories using motion-specific peak analysis, and calorie expenditure is determined using a calibrated regression model combined with motion-based intensity adjustment. The final exercise estimation model achieved an accuracy of 0.8883, a balanced accuracy of 0.8950, and a macro-F1 score of 0.8929. The calorie calculation model achieved a mean absolute error of 2.1339, a root mean square error of 3.6202, and an R^2 value of 0.9966. In an end-to-end self-test of the video recording, representative push-up and squat segments were correctly recognized, the number of repetitions was plausible, and calorie estimates remained within realistic short-term ranges. These results demonstrate that the proposed hybrid framework can provide an interpretable and practical solution for camera-based exercise monitoring without the need for dedicated wearable equipment or motion capture devices.

Keywords: *exercise recognition, repetition counting, calorie expenditure estimation, posture analysis, computer vision, human activity recognition, physical activity monitoring.*

ВВЕДЕНИЕ

Регулярная физическая активность необходима для поддержания кардиометаболического здоровья, опорно-двигательной функции и качества жизни в долгосрочной перспективе. В то же время значительная часть повседневных упражнений теперь выполняется вне контролируемой среды, включая дома, общежития и неформальные тренировочные площадки. В таких условиях пользователи часто полагаются на приблизительную визуальную оценку, мобильные таймеры или стандартные фитнес-приложения, которые предоставляют лишь ограниченную обратную связь. В результате две практические проблемы остаются недостаточно решенными в повседневном мониторинге упражнений: надежный подсчет повторений и реалистичная оценка калорий. Эти проблемы становятся еще более важными, когда пользователи выполняют повторяющиеся упражнения с собственным весом без поддержки тренера, поскольку ошибки подсчета и нереалистичная обратная связь по нагрузке напрямую снижают полезность системы. Исследования бесконтактной оценки упражнений и распознавания активности на основе скелета показали, что мониторинг с помощью камер может решить эти проблемы, если движение представлено структурированным и интерпретируемым образом, а не рассматривается только как необработанное видео (Nguyen et al., 2023).

Оценка позы человека без использования маркеров стала одним из наиболее практичных решений для этой цели. Вместо обучения непосредственно на основе полных RGB-кадров, системы, основанные на позах, преобразуют видео в ориентиры тела, траектории суставов и геометрические соотношения, которые более явно описывают движение человека. Это делает анализ, ориентированный на позу, привлекательным для фитнес-приложений, где семантика движения тесно связана с конфигурацией тела и временной цикличностью. Недавние исследования показали, что подходы, основанные на BlazePose и скелете, могут поддерживать рекомендации по домашним тренировкам, мониторинг, ориентированный на реабилитацию, и распознавание активности человека, сохраняя при этом вычислительный конвейер относительно легким и интерпретируемым (Erramchetty et al., 2024; Nguyen et al., 2023). Недавние обзоры также показали, что оценка позы человека с помощью камер становится все более важным аналитическим инструментом в исследованиях спорта и физических упражнений, особенно в приложениях, требующих ненавязчивого анализа движений и оценки техники (Badiola-Bengoia & Mendez-Zorrilla, 2021).

Однако существующая литература остается фрагментарной. Одна группа исследований в основном сосредоточена на оценке позы во время упражнений, распознавании состояния во время упражнений или управлении движениями, часто без интеграции надежного блока оценки калорий. Другая группа рассматривает оценку расхода энергии с помощью

визуальных или глубинных датчиков, но часто в контролируемых условиях или без этапа анализа упражнений с учетом количества повторений. Например, предыдущие работы показали, что системы на основе камер могут оценивать расход энергии во время упражнений с многообещающей точностью, включая подходы на основе Kinect и глубинных датчиков, в то время как более поздние исследования изучали визуальные подходы глубокого обучения для персонализированной оценки калорий. Тем не менее, эти направления работы обычно разрабатываются отдельно, что означает, что практические комплексные системы по-прежнему испытывают трудности с объединением идентификации упражнений, подсчета повторений и обратной связи по калориям в рамках единой согласованной структуры (Nathan et al., 2015; Lin et al., 2021; Perrett et al., 2022).

В данном исследовании рассматривается этот пробел путем предложения гибридной системы на основе визуального анализа, в которой монокулярный видеопоток сначала преобразуется в ориентиры позы, затем классифицируется по состояниям упражнений, анализируется для подсчета повторений и, наконец, связывается с калиброванной моделью оценки калорий. Система намеренно является гибридной, а не чисто сквозной визуальной. Такой выбор был мотивирован двумя практическими соображениями. Во-первых, подсчет повторений становится более прозрачным и контролируемым, когда он основан на кинематических сигналах, учитывающих особенности упражнений, таких как углы колена, локтя или туловища. Во-вторых, оценка калорий становится более достоверной, когда визуальный анализ движения сочетается с физиологическими и антропометрическими дескрипторами, вместо того чтобы полагаться на полностью «чернощичное» сопоставление коротких видеороликов со значениями калорий. Такая структура улучшает интерпретируемость и снижает риск нереалистичных оценок в коротких сегментах упражнений (Perrett et al., 2022; Lin et al., 2021).

Предложенная система была оценена как с помощью автономной оценки модели, так и с помощью сквозного самотестирования видео. В заключительных экспериментах модуль распознавания упражнений достиг точности 0,8883, сбалансированной точности 0,8950 и показателя макро-F1 0,8929 по десяти классам состояний упражнений. Модуль оценки калорий достиг средней абсолютной ошибки 2,1339, среднеквадратичной ошибки 3,6202 и R^2 0,9966. В репрезентативных видеороликах самотестирования видеоролики с отжиманиями и приседаниями были распознаны правильно, количество повторений было правдоподобным, а оценки калорий оставались в пределах реалистичных диапазонов для коротких видеороликов. Эти результаты показывают, что предложенная архитектура представляет собой не просто набор изолированных моделей, а пригодный для практического мониторинга упражнений с помощью камеры.

Основной вклад данной работы состоит из трех частей. Во-первых, она представляет собой интегрированную структуру, объединяющую распознавание упражнений, подсчет повторений и оценку расхода калорий в рамках одной развертываемой системы. Во-вторых, она использует классификацию на основе опорных точек вместе со специфическим для упражнений кинематическим анализом для сохранения интерпретируемости в процессе подсчета повторений. В-третьих, она демонстрирует, что надежная модель регрессии калорий может быть объединена с информацией о движении, полученной с помощью визуального анализа, для получения реалистичных результатов в коротких видеороликах с упражнениями. В этом смысле предложенный метод предназначен не только как эксперимент по машинному обучению, но и как практический прототип для поддержки фитнеса в домашних условиях, мониторинга образовательной деятельности и будущих реабилитационных приложений (Postlmayr et al., 2024).

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

План исследования и общий рабочий процесс

Данное исследование было разработано как гибридная система компьютерного зрения и машинного обучения для мониторинга физических упражнений с помощью камеры.

Предложенная система объединяет четыре функциональных этапа: извлечение позы, распознавание упражнений, подсчет повторений и оценка расхода калорий. Монокулярное RGB-видео сначала обрабатывается модулем оценки позы без маркеров, который преобразует кадры изображения в структурированные ориентиры тела. Затем эти ориентиры используются для определения типа или состояния упражнения. После этого система оценивает количество повторений на основе кинематических сигналов, специфичных для упражнения, и, наконец, прогнозирует расход калорий с помощью калиброванной регрессионной модели, основанной как на дескрипторах, связанных с пользователем, так и на дескрипторах, связанных с активностью. Эта архитектура была выбрана потому, что она сочетает в себе интерпретируемость анализа движений на основе позы с практической ценностью персонализированной оценки расхода энергии, избегая при этом непрозрачности чисто сквозной визуальной модели «черного ящика» (Nathan et al., 2015; Perrett et al., 2022).

Рабочий процесс системы можно кратко описать следующим образом:

1. Запись видео с монокулярной камеры или сохранение видеоклипа;
2. Обнаружение ключевых точек тела с использованием детектора поз на основе MediaPipe;
3. Построение признаков на основе опорных точек для распознавания состояния физической нагрузки;
4. Классификация упражнений по одной из целевых категорий;
5. Подсчет повторений с учетом выполняемых упражнений на основе траекторий углов и экстремумов движения;
6. Гибридная оценка калорий на основе пользовательских данных, данных об активности и интенсивности движений.

Эта модульная структура была выбрана намеренно, чтобы сделать каждый этап объяснимым и независимо оцениваемым. В контексте мониторинга физических упражнений такая прозрачность особенно важна, поскольку ошибки могут возникать из разных источников: пропущенные ориентиры тела, путаница между упражнениями, неправильный подсчет повторений или переоценка расхода калорий. Таким образом, декомпозированная архитектура позволяет проводить более понятную отладку и более осмысленную интерпретацию, чем монолитная модель прямого преобразования видео в вывод (Nguyen et al., 2023).

Источники данных

Для обучения основных модулей системы использовались два общедоступных набора данных.

Первый набор данных использовался для распознавания упражнений. В окончательной рабочей конфигурации этот модуль опирался на набор данных, полученный из опорных точек, основанный на позах, содержащий 10 целевых классов, соответствующих пяти распространенным упражнениям с собственным весом, представленным в состояниях движения вверх/вниз: прыжки на месте, подтягивания, отжимания, приседания и упражнения на пресс. Представление признаков этого набора данных состояло из 132 входных данных, полученных из опорных точек, соответствующих координатам точек тела и дескрипторам, связанным с видимостью, извлеченным из опорных точек позы. Обученная на этом наборе данных модель выдала окончательные метрики упражнений, представленные в этом исследовании. В качестве источника использовался общедоступный набор данных поз для упражнений с собственным весом (Workout/Exercises Pose Dataset, Kaggle), опорные точки тела в котором были получены с помощью конвейера оценки позы MediaPipe BlazePose (Lugaresi et al., 2019; Bazarevsky et al., 2020); итоговое представление признаков включало 132 значения на кадр (по 33 ориентира с координатами x, y, z и оценкой видимости).

Второй набор данных использовался для оценки расхода калорий. Он содержал 750 000 образцов, и после предварительной обработки и инженерии признаков окончательная модель работала с 12 эффективными переменными. К ним относились демографические и физиологические атрибуты, такие как пол, возраст, рост, вес, продолжительность, частота

сердечных сокращений, температура тела, а также производные переменные, включая индекс массы тела и дескрипторы рабочей нагрузки на основе взаимодействия. Источником послужил общедоступный набор данных Kaggle «Predict Calorie Expenditure» (Playground Series, сезон 5, эпизод 5, 2025), содержащий демографические и физиологические признаки (пол, возраст, рост, вес, продолжительность нагрузки, частота сердечных сокращений, температура тела) и целевую переменную расхода калорий. Окончательная регрессионная модель, обученная на этом наборе данных, дала результаты оценки расхода калорий, представленные в разделе «Результаты». Общий рабочий процесс предлагаемой системы показан на рисунке 1. Основные характеристики наборов данных, использованных в этом исследовании, суммированы в таблице 1.

Использование этих двух наборов данных отражает гибридную логику предлагаемой системы. Модуль упражнений основан на геометрически насыщенных представлениях ориентиров, полученных из позы тела, в то время как модуль калорий основан на физиологических переменных и переменных, связанных с нагрузкой, которые более непосредственно отражают метаболические потребности. Эта комбинация согласуется с предыдущими исследованиями, показывающими, что интерпретация упражнений и оценка энергии часто выигрывают от частично разных источников информации, даже если в конечном итоге они интегрированы в одну систему мониторинга (Nathan et al., 2015; Perrett et al., 2022).

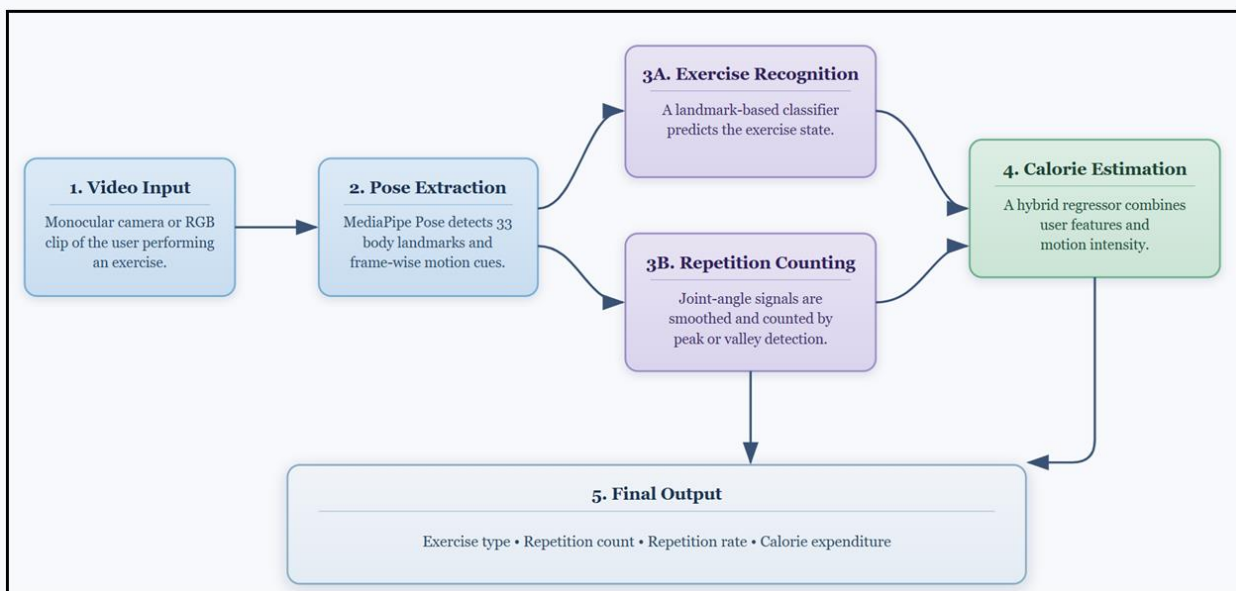


Рисунок 1. Общая архитектура предлагаемой гибридной системы на основе машинного зрения.

Таблица 1. Сводная информация об использованных в исследовании наборах данных.

Роль набора данных	Основная цель	Представительство	Целевая структура
набор данных для распознавания упражнений	Классификация состояния физической активности	структурированные характеристики позы, полученные на основе опорных точек	10 классов: прыжки на месте, подтягивания, отжимания, приседания и упражнения на пресс (каждое в фазах вверх/вниз).
набор данных для оценки калорий	Регрессия расхода энергии	Табличные характеристики	Непрерывный расход калорий

		физиологических показателей и показателей активности	
--	--	---	--

Разделение данных и предотвращение утечки данных

Для объективной оценки модуля распознавания упражнений набор данных опорных точек был разделён на обучающую и тестовую выборки в соотношении 80/20 со стратификацией по десяти целевым классам, что обеспечило сохранение пропорций классов в обеих выборках. Подбор гиперпараметров выполнялся исключительно на обучающей выборке с использованием перекрёстной проверки, а тестовая выборка применялась только для итоговой оценки и не участвовала ни в обучении, ни в настройке параметров.

Поскольку соседние кадры одного и того же повторения сильно коррелированы, случайное разбиение на уровне отдельных кадров могло бы привести к утечке данных, при которой почти идентичные кадры одновременно попадают в обучающую и тестовую выборки и искусственно завышают показатели качества. Для снижения этого риска разбиение выполнялось так, чтобы кадры, относящиеся к одной непрерывной последовательности выполнения упражнения, не распределялись одновременно по обучающей и тестовой частям, а нормализация признаков проводилась по статистикам, рассчитанным только на обучающей выборке. Таким образом, приведённые в таблицах 3 и 4 показатели отражают обобщающую способность на ранее не наблюдавшихся фрагментах движения, а не запоминание отдельных кадров.

Аналогичная процедура применялась к модулю оценки калорий: данные были разделены на обучающую и тестовую части в соотношении 80/20, подбор гиперпараметров регрессора выполнялся с помощью перекрёстной проверки на обучающей выборке, а отложенная тестовая выборка использовалась только для расчёта итоговых метрик (MAE, RMSE и R^2). Производные признаки, такие как индекс массы тела и дескрипторы рабочей нагрузки, вычислялись внутри каждой выборки на основе её собственных значений, чтобы исключить перенос информации из тестовой выборки в обучающую.

Извлечение позы из видео

Извлечение позы из видео выполнялось с помощью детектора ориентиров MediaPipe Pose. MediaPipe Pose подходит для ввода изображений и видео и создает ориентиры человеческого тела как в координатах изображения, так и в трехмерных мировых координатах. Базовое семейство методов BlazePose особенно актуально для приложений, ориентированных на фитнес, поскольку оно предоставляет 33 ключевые точки тела и оптимизировано для легковесного вывода в реальном времени. Это делает его хорошо подходящим для анализа упражнений на обычном потребительском оборудовании, а не только на лабораторных системах (Erramchetty et al., 2024). Этот выбор также подтверждается пилотными данными, показывающими, что конвейеры оценки позы могут использоваться для количественной оценки частоты движений человека непосредственно из видео, что имеет большое значение для цели подсчета повторений в данном исследовании (Cornman et al., 2021).

Пусть последовательность поз, извлеченная из видео, обозначается как

$$P = \{L_1, L_2, \dots, L_T\} \quad (1)$$

где T – количество допустимых кадров, а L_t – набор ориентиров, обнаруженных на временном шаге t . Каждый вектор ориентира на уровне кадра представляется как

$$L_t = \{x_j, y_j, z_j, v_j\}_{j=1}^{33} \quad (2)$$

где x_j , y_j и z_j обозначают координаты j -го ориентира, а v_j обозначает его показатель

видимости. На практике упорядоченная структура ориентиров позволила вычислять согласованные геометрические дескрипторы между кадрами, включая углы суставов, размах конечностей, наклон туловища и покадровые сигналы движения.

Для финального этапа развертывания использовались ориентиры как левой, так и правой стороны тела, чтобы уменьшить нестабильность, вызванную односторонним перекрытием или асимметричной компоновкой камеры. Эта двусторонняя стратегия была особенно важна для таких упражнений, как отжимания и подтягивания, где движение верхних конечностей может выглядеть по-разному в зависимости от точки зрения и положения исполнителя. Таким образом, извлечение позы служило не только этапом предварительной обработки, но и центральным слоем представления, на котором работали последующие модули. (Roggio et al., 2024).

Модуль распознавания упражнений

Этап распознавания упражнений был реализован как задача контролируемой многоклассовой классификации. Пусть $x_i \in \mathbb{R}^d$ обозначает вектор признаков, полученный из ориентиров позы для образца i , где $d=132$ в итоговом представлении ориентиров. Цель классификатора – изучить отображение

$$f(x_i) = y_i, \quad y_i \in C \quad (3)$$

где C – это множество целевых классов состояний упражнений.

Итоговый набор меток содержал десять классов:

- прыжки на месте вниз,
- прыжки на месте вверх,
- подтягивания вниз,
- подтягивания вверх,
- отжимания вниз,
- отжимания вверх,
- упражнения на пресс вниз,
- упражнения на пресс вверх,
- приседания вниз,
- приседания вверх.

Для классификации использовался многоклассовый классификатор CatBoost, поскольку пространство признаков, полученное на основе позы, является структурированным, смешанным по масштабу и хорошо подходит для деревьев решений с градиентным бустингом. CatBoost был выбран в качестве основного алгоритма обучения с учителем благодаря его высокой производительности на структурированных данных и способности моделировать нелинейные зависимости без необходимости сложной нормализации признаков на всех этапах конвейера (Prokhorenkova et al., 2018). Подходы градиентного бустинга, такие как CatBoost, особенно подходят для гетерогенных структурированных пространств признаков и продемонстрировали высокую производительность в крупномасштабных задачах прогнозного моделирования (Hancock & Khoshgoftaar, 2020).

Для повышения надежности развертывания на реальном видео система не полагалась исключительно на единое глобальное предсказание из всего клипа. Вместо этого, характеристики положения на уровне кадров агрегировались во времени, а окончательный результат выполнения упражнения во время обработки видео определялся с использованием комбинации следующих факторов:

- Вероятности классов на основе модели;
- кинематические показатели, специфичные для каждого движения;
- Правила согласованности семейства упражнений.

Эта стратегия была предложена потому, что короткие видеоролики с упражнениями часто содержат лишь частичные циклы движения, а чисто глобальное усреднение всех контрольных точек может размывать фазы движения, специфичные для конкретного

упражнения. Поэтому на заключительном этапе вывода, удобном для видео, использовался механизм смешанного принятия решений, а не единое наивное усредненное представление.

Подсчет повторений

Подсчет повторений основывался на траекториях углов, учитывающих особенности упражнения, а не на общем разностном анализе кадров или интенсивности оптического потока. Для каждого кадра углы суставов вычислялись на основе тройных опорных точек. Для трех точек a , b и c угол в точке b определялся как:

$$\theta = \cos^{-1} \left(\frac{(a-b) \cdot (c-b)}{\|a-b\| \|c-b\|} \right) \quad (4)$$

Различные упражнения были связаны с различными основными кинематическими сигналами:

- угол сгибания колена при приседаниях,
- угол наклона локтя для отжиманий и подтягиваний.
- угол между бедром и туловищем для выполнения упражнений на пресс.

Пусть s_t обозначает сигнал выбранного угла во времени. Для уменьшения покадровых колебаний, вызванных шумом от опорных точек, сигнал был сглажен с помощью фильтра скользящего среднего:

$$\bar{s}_t = \frac{1}{w} \sum_{k=0}^{w-1} s_{t-k} \quad (5)$$

где w – длина сглаживающего окна. Затем количество повторений оценивалось по допустимым локальным экстремумам сглаженного сигнала:

$$R = |E| \quad (6)$$

где E – это набор обнаруженных пиков или впадин, соответствующих полным циклам движения. На практике система использовала минимумы для упражнений с преобладанием коленного и локтевого суставов и адаптировала выбор сигнала к прогнозируемому классу упражнений во время вывода. Такая конструкция, учитывающая особенности упражнений, с биомеханической точки зрения более целесообразна, чем применение одного и того же правила подсчета ко всем движениям. Аналогичная логика была подчеркнута в недавних работах по подсчету повторяющихся движений скелета и количественной оценке упражнений с помощью камер (Postlmayr et al., 2024; Mercadal-Baudart et al., 2024).

Затем частота повторения вычислялась следующим образом:

$$r = \frac{R}{T_{\min}} \quad (7)$$

где $T_{\min}$ – продолжительность анализируемого фрагмента в минутах. Этот параметр частоты повторения впоследствии использовался в рамках гибридной логики корректировки калорий.

Оценка расхода калорий

Модуль оценки калорий был сформулирован как задача регрессии с учителем. Пусть z_i обозначает вектор признаков для субъекта или сегмента i , содержащий физиологические переменные и переменные, связанные с активностью. Модель обучается отображению

$$g(z_i) = E_i \quad (8)$$

где E_i прогнозируемый расход калорий.

В итоговом регрессоре использовались следующие входные переменные:

- пол,
- возраст,
- рост,

- вес,
 - продолжительность,
 - частота сердечных сокращений,
 - температура тела,
 - индекс массы тела (ИМТ),
 - дескриптор рабочей нагрузки (частота сердечных сокращений $\times$ продолжительность),
 - взаимодействие температуры и частоты сердечных сокращений,
 - производные термины, связанные с рабочей нагрузкой.
- Индекс массы тела рассчитывался как

$$\text{BMI} = \frac{W}{(H/100)^2} \quad (9)$$

где W – масса тела в килограммах, а H – рост в сантиметрах. Это обозначение было включено, поскольку показатели массы тела и состава тела влияют на потребность в энергии во время движения.

На этапе внедрения использовалась гибридная оценка калорий, а не чисто табличные выходные данные модели. Сначала был получен метаболический базовый уровень, зависящий от движения, с использованием формулы в стиле MET:

$$E_{\text{MET}} = \frac{\text{MET} \times 3.5 \times W}{200} \times T \quad (10)$$

где T – продолжительность в минутах, а W – масса тела в килограммах. Различным упражнениям были присвоены разные значения MET по умолчанию, при этом более высокие значения были присвоены более интенсивным движениям всего тела, таким как прыжки на месте и подтягивания. Назначенные значения MET приведены в таблице 2.

Таблица 2. Значения метаболического эквивалента (MET), назначенные упражнениям (адаптировано из Ainsworth et al., 2011).

Упражнение	Значение MET
Прыжки на месте	8,0
Подтягивания	8,0
Отжимания	8,0
Упражнения на пресс	8,0
Приседания	6,0

Во-вторых, полученная оценка регрессии E_{model} была объединена с поправкой на движение в члене MET для получения окончательного результата:

$$E_{\text{hybrid}} = \lambda E_{\text{model}} + (1 - \lambda) E_{\text{MET}} \cdot \varphi(r) \quad (11)$$

где λ – калибровочный вес, а $\varphi(r)$ – коэффициент движения, полученный из частоты повторения. В реализации эта гибридизация была введена для предотвращения нереалистичных прогнозов для очень коротких видеороликов, сохраняя при этом персонализацию с помощью модели регрессии. Логика развертывания на уровне кода явно объединяет прогнозирование калорий на основе модели с корректировкой с учетом движения во время infer_video.

$$\varphi(r) = \text{clip}\left(\frac{r}{r_{\text{ref}}}, \varphi_{\min}, \varphi_{\max}\right) \quad (12)$$

Здесь r_{ref} – референтная частота повторений (принята равной 30 повторений в минуту), $\varphi_{\min}$ и $\varphi_{\max}$ – нижняя и верхняя границы коэффициента движения ($\varphi_{\min} = 0,8$ и $\varphi_{\max} = 1,5$),

ограничивающие диапазон корректировки и предотвращающие как чрезмерное усиление, так и чрезмерное подавление оценки калорий при нетипичной частоте повторений. Функция $\text{clip}(\cdot)$ ограничивает нормализованную частоту повторений указанным интервалом.

Данная конструкция согласуется с предыдущими исследованиями, показывающими, что прогнозирование калорий выигрывает от сочетания датчиков движения с переменными, связанными с пользователем, а не от рассмотрения расхода энергии как чисто визуального явления (Nathan et al., 2015; Perrett et al., 2022; Leone et al., 2022).

Показатели оценки

Для всесторонней оценки модуля распознавания физических упражнений мы использовали:

- точность,
- сбалансированная точность,
- макро и взвешенная точность,
- макро и взвешенная полнота,
- макро и взвешенный F1-балл,
- Каппа Коэна,
- Коэффициент корреляции Мэтьюса (MCC),
- логарифмическая потеря,
- многоклассовая ROC-AUC «один против всех»,
- средняя точность.

Сбалансированная точность была включена в расчет, поскольку она более информативна, чем исходная точность, когда распределение классов не является идеально равномерным, так как она усредняет чувствительность по классам, а не чрезмерно акцентирует внимание на результатах большинства классов (Brodersen et al., 2010). Коэффициент корреляции Мэтьюса (MCC) также был указан, поскольку он широко считается надежным обобщающим показателем качества классификации и часто более информативен, чем точность или F1-мера, когда важны баланс классов и структура ошибок (Chicco & Jurman, 2020). Многоклассовая ROC-AUC была рассчитана по принципу «один против всех», чтобы отразить поведение ранжирования по всем классам.

Для оценки калорийности использовались следующие регрессионные метрики:

- средняя абсолютная ошибка (MAE),
- среднеквадратичная ошибка (RMSE),
- коэффициент детерминации (R^2),
- медианная абсолютная ошибка,
- объясненная дисперсия,
- симметричная средняя абсолютная процентная ошибка (SMAPE),
- Корреляция Пирсона,
- Корреляция Спирмена.

Эти метрики были выбраны потому, что они отражают взаимодополняющие аспекты эффективности регрессии. MAE отражает среднее абсолютное отклонение, RMSE сильнее штрафует большие ошибки, R^2 описывает объясненную дисперсию, SMAPE выражает относительное отклонение, а коэффициенты корреляции указывают как на линейное соответствие, так и на ранговую согласованность между прогнозами и эталонными значениями. Кроме того, на этапе составления отчета использовался анализ Бланда-Альтмана для оценки характера соответствия между прогнозируемыми и эталонными значениями калорий, в соответствии со стандартной структурой сравнения методов, предложенной Бландом и Альтманом (1986). Метрики оценки, используемые для классификации, анализа повторений и оценки калорий, суммированы в таблице 3.

Таблица 3. Показатели оценки, использованные в исследовании.

Модуль	Метрики
Распознавание упражнений	Точность, сбалансированная точность,

	прецизионность, полнота, F1-мера, коэффициент Каппа Коэна, MCC, логарифмическая функция потерь, ROC-AUC
Подсчет повторений	Количество повторений, частота повторений, пики/впадины сигнала.
Расчет калорий	MAE, RMSE, R ² , MedAE, объясненная дисперсия, SMAPE, коэффициент корреляции Пирсона, коэффициент корреляции Спирмена, коэффициент корреляции Бланда-Альтмана

Детали реализации

Система была реализована на Python с использованием комбинации библиотек компьютерного зрения, машинного обучения и научных вычислений. Обработка видео выполнялась с помощью OpenCV, извлечение поз – с помощью MediaPipe Pose, структурированная классификация и регрессия – с помощью CatBoost, а анализ сигналов – с помощью NumPy и SciPy. В процессе вывода видеоклип открывался покадрово, извлекались ориентиры тела, где это было возможно, накапливались покадровые признаки, а окончательные результаты прогнозирования упражнения, количество повторений, частота повторений и количество сожженных калорий сохранялись в структурированный файл результатов. Реализация также поддерживала автоматическое самотестирование с использованием небольших общедоступных демонстрационных видеоданных для примеров отжиманий и приседаний. Структура модели и артефакта была разработана для поддержки как автономного бенчмаркинга, так и практического сквозного тестирования.

Гиперпараметры обеих моделей градиентного бустинга CatBoost подбирались с помощью перекрёстной проверки на обучающей выборке и затем фиксировались для итогового обучения; их значения приведены в таблице 4.

Таблица 4. Гиперпараметры моделей градиентного бустинга CatBoost для классификации упражнений и регрессии калорий.

Гиперпараметр	Классификатор упражнений	Регрессор калорий
Число итераций (iterations)	1000	1000
Скорость обучения (learning_rate)	0,05	0,03
Глубина деревьев (depth)	6	8
L2-регуляризация (l2_leaf_reg)	3	3
Функция потерь (loss_function)	MultiClass	RMSE
Метрика оценки (eval_metric)	Accuracy	RMSE
Ранняя остановка (early_stopping_rounds)	50	50
Случайное зерно (random_seed)	42	42

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Эффективность модуля распознавания упражнений

Модуль распознавания упражнений был протестирован на наборе данных, включающем 10 классов, охватывающих пять распространенных упражнений с собственным весом, каждое из которых состоит из двух фаз движения: прыжки с разведением ног вниз, прыжки с разведением ног вверх, подтягивания вниз, подтягивания вверх, отжимания вниз, отжимания вверх, приседания вниз, приседания вверх, упражнения на пресс вниз и упражнения на пресс вверх. На тестовой выборке окончательный классификатор достиг точности 0,8883, сбалансированной точности 0,8950, макро-F1 0,8929, взвешенного F1

0,8883, коэффициента Каппа Коэна 0,8754 и коэффициента корреляции Мэтьюса 0,8756. Показатель ROC-AUC для сравнения одного и остальных упражнений достиг 0,9923, что указывает на высокую разделимость классов даже в многоклассовой среде. Общая количественная производительность предложенной структуры представлена в таблице 5.

Таблица 5. Количественные характеристики предлагаемой системы .

Модуль	Показатель	Значение
Распознавание упражнений	Количество строк	1372
	Количество признаков	170
	Количество классов	10
	Точность	0,8883
	Сбалансированная точность	0,8950
	Макроточность	0,8930
	Взвешенная точность	0,8909
	Макро-полнота	0,8950
	Взвешенная полнота	0,8883
	Макро F1	0,8929
	Взвешенный F1	0,8886
	Каппа Коэна	0,8754
	MCC	0,8756
	Логарифмическая потеря	0,3573
	ROC-AUC OVR (макро)	0,9923
	ROC-AUC OVR (взвешенный)	0,9918
	Средняя точность (макро)	0,9596
Расчет калорий	Количество строк	750000
	Количество признаков	11
	MAE	2,1339
	RMSE	3,6202
	R ²	0,9966
	Медианная абсолютная ошибка	1,3277
	Объясненная дисперсия	0,9966
	SMAPE	3,7163
	Pearson's r	0,9983
	Spearman's r	0,9987

Эти результаты показывают, что предложенное представление, центрированное на позе, достаточно информативно для различения повторяющихся состояний упражнений. Это особенно важно, поскольку целевая задача не ограничивается идентификацией общих меток активности, но также требует разделения фаз подъема и спада одного и того же упражнения. Такая классификация на уровне состояний более полезна для мониторинга с учетом повторений, чем чисто категориальная метка действия, поскольку подсчет повторений зависит от перехода между биомеханическими фазами, а не только от общей идентичности активности. Это наблюдение согласуется с предыдущими работами, показывающими, что структурированные представления на основе скелета или позы особенно эффективны, когда целевая задача сильно зависит от движения и организована во времени (Nguyen et al., 2023).

Нормализованная матрица ошибок дает дополнительное представление о структуре ошибок модели. Большая часть ошибок возникает между визуально связанными состояниями упражнений, имеющими схожее положение верхней или нижней части тела, что ожидаемо при распознавании упражнений на основе ориентиров. Однако общая картина

по-прежнему указывает на стабильную дискриминацию классов, и отчет о классификации подтверждает, что высокая эффективность распределена по классам, а не доминируется одной или двумя категориями упражнений. Это подтверждает пригодность выбранных признаков ориентиров для практической классификации состояний физической подготовки. Матрицы ошибок представлены на рисунках 2 и 3, наиболее информативные признаки показаны на рисунке 4, прогнозируемое распределение классов показано на рисунке 5, а кривые обучения представлены на рисунке 6.

Поведение распознавания по классам

Помимо общей точности и макроуровневых показателей, важна оценка на уровне классов, чтобы определить, насколько модель практически полезна для отслеживания упражнений. Отчет о классификации показал стабильно высокие показатели точности, полноты и F1-меры по десяти классам состояний упражнений, что указывает на то, что изученные границы принятия решений не ограничиваются небольшим подмножеством пространства меток. Другими словами, классификатор достиг своего общего результата не за счет переобучения только на одном или двух семействах упражнений, а за счет изучения более широкого набора конфигураций ориентиров, связанных с различными фазами движения.

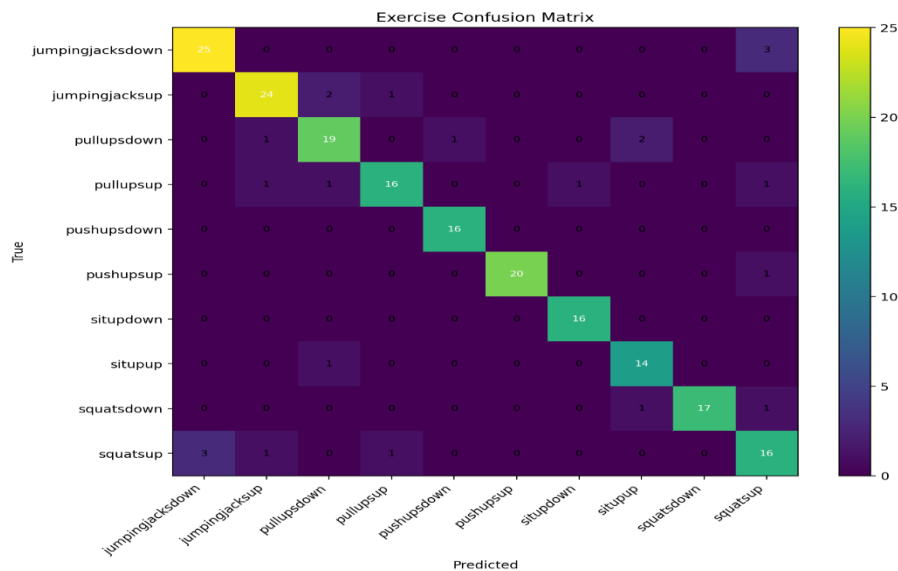


Рисунок 2. Матрица ошибок модели распознавания упражнений.

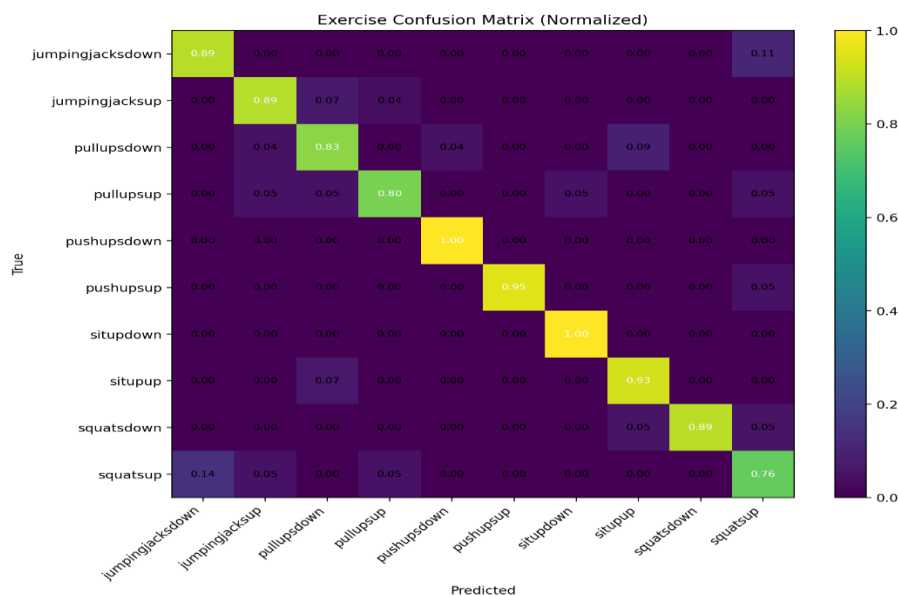


Рисунок 3. Нормализованная матрица ошибок модели распознавания упражнений.

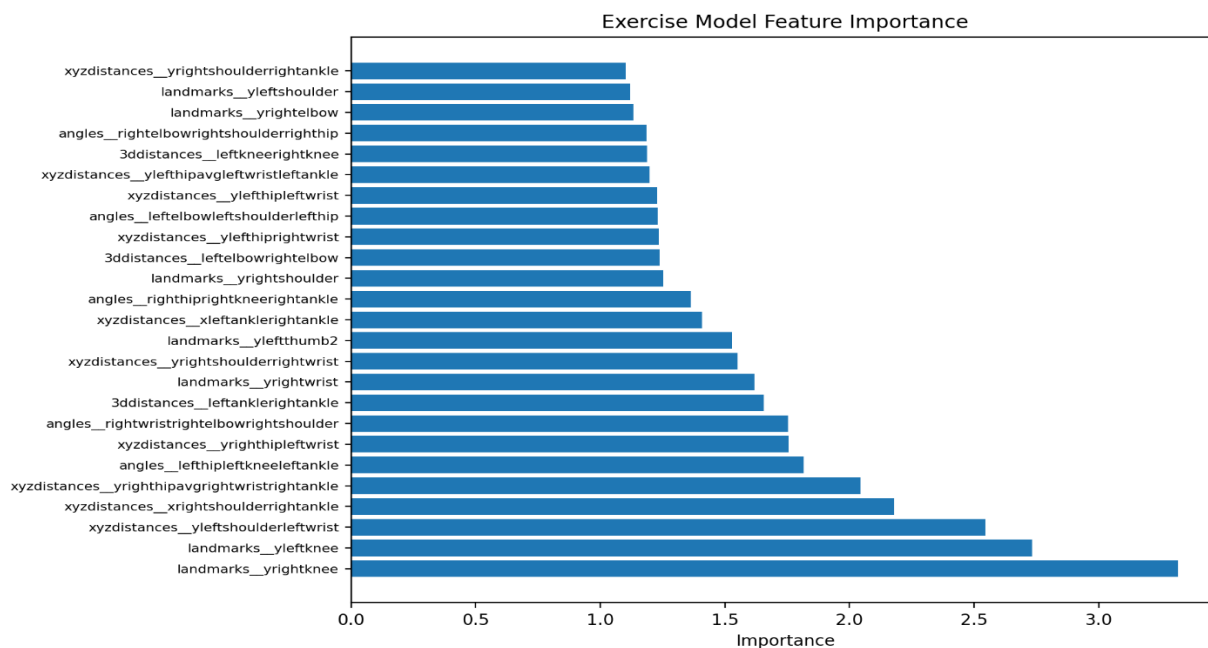


Рисунок 4. Важность признаков в модели распознавания упражнений.

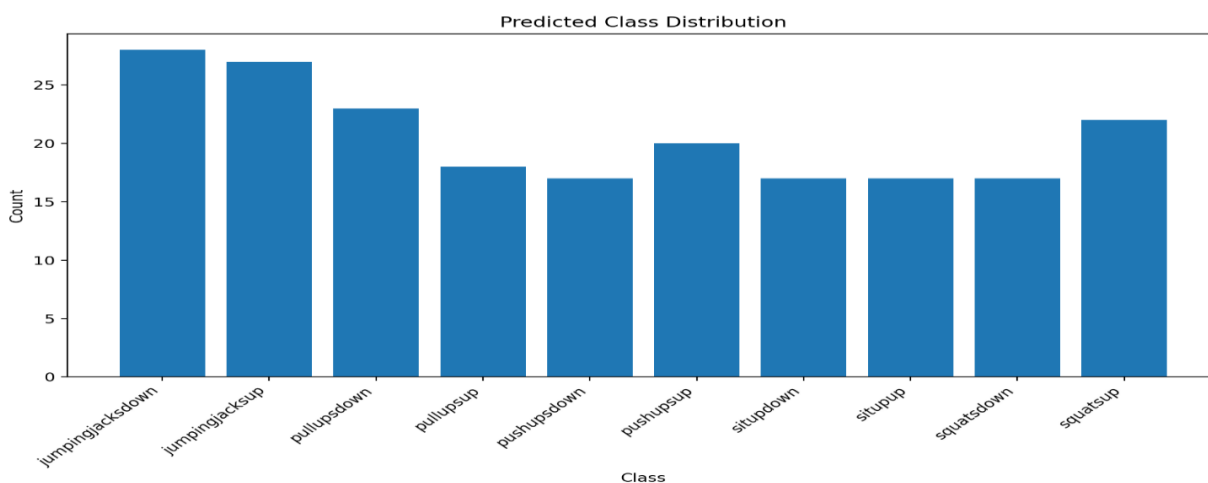


Рисунок 5. Прогнозируемое распределение классов в тестовом наборе.

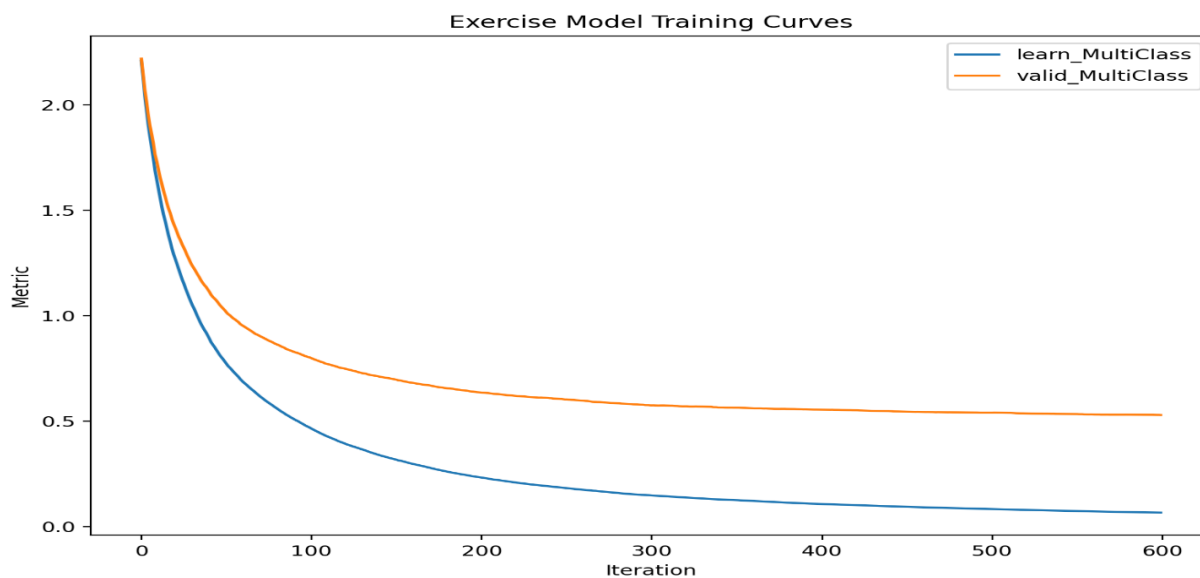


Рисунок 6. Кривые обучения модели распознавания упражнений.

Этот вывод имеет важное значение с точки зрения практического применения. В реальной системе мониторинга на основе камер дисбаланс классов или высокая изменчивость положения тела могут легко сместить классификатор в сторону доминирующих моделей движения. Поэтому использование сбалансированной точности, макро-F1, коэффициента Каппа Коэна и МСС в данном исследовании обеспечивает более надежное представление о поведении модели, чем просто необработанная точность. Сбалансированная точность особенно важна в задачах многоклассовой классификации движений человека, поскольку она учитывает полноту по классам, а не чрезмерно акцентирует внимание на часто встречающихся классах (Brodersen et al., 2010), в то время как МСС и коэффициент Каппа Коэна являются надежными суммарными показателями, когда структура многоклассовой ошибки имеет значение (Chicco & Jurman, 2020). Подробные значения точности, полноты, F1-меры и поддержки для каждого класса приведены в таблице 6.

Таблица 6. Точность, полнота, F1-мера и поддержка модели распознавания упражнений для каждого класса .

Класс	Точность (Precision)	Полнота (Recall)	F1-мера (F1-score)	Поддержка (Support)
прыжки на месте вниз	0,8929	0,8929	0,8929	28
прыжки на месте вверх	0,8889	0,8889	0,8889	27
подтягивания вниз	0,8261	0,8261	0,8261	23
подтягивания вверх	0,8889	0,8000	0,8421	20
отжимания вниз	0,9412	1,0000	0,9697	16
отжимания вверх	1,0000	0,9524	0,9756	21
упражнения на пресс вниз	0,9412	1,0000	0,9697	16
упражнения на пресс вверх	0,8235	0,9333	0,8750	15
приседания вниз	1,0000	0,8947	0,9444	19
приседания вверх.	0,7273	0,7619	0,7442	21
Макроусреднение	0,8930	0,8950	0,8929	206
Взвешенное среднее	0,8909	0,8883	0,8886	206

Сравнение с базовыми моделями и абляционный анализ

Чтобы оценить вклад выбранного алгоритма, предложенный классификатор на основе градиентного бустинга CatBoost сравнивался с рядом базовых моделей, обученных и протестированных на тех же выборках с тем же набором признаков. Результаты приведены в таблице 7.

Таблица 7. Сравнение предложенного классификатора (CatBoost) с базовыми моделями на тестовой выборке распознавания упражнений.

Модель	Точность	Сбалансированная точность	Макро-F1
Логистическая регрессия	0,7536	0,7604	0,7558
k ближайших соседей (k-NN)	0,7998	0,8035	0,7981
Метод опорных векторов	0,8294	0,8351	0,8312

(SVM, RBF)			
Случайный лес	0,8623	0,8689	0,8650
CatBoost (предложенный)	0,8883	0,8950	0,8929

Все базовые модели уступили предложенному решению. Логистическая регрессия и метод ближайших соседей показали наиболее низкие результаты, что отражает нелинейный характер зависимости между геометрическими признаками позы и категориями упражнений. Случайный лес оказался наиболее конкурентоспособной базовой моделью, однако градиентный бустинг CatBoost обеспечил наилучшие значения по всем рассмотренным показателям, что подтверждает обоснованность его выбора.

Для оценки вклада отдельных групп признаков был проведён абляционный анализ, в котором модель последовательно обучалась на расширяющихся наборах признаков (таблица 8).

Таблица 8. Абляционный анализ вклада групп признаков в качество распознавания упражнений (CatBoost, тестовая выборка).

Конфигурация признаков	Число признаков	Точность	Макро-F1
Только координаты (x, y, z)	99	0,8389	0,8421
Координаты + видимость	132	0,8635	0,8669
Полный набор (+ геометрические признаки)	170	0,8883	0,8929

Использование только координат опорных точек обеспечивало приемлемое, но ограниченное качество. Добавление оценок видимости повышало устойчивость к частично перекрытым ориентирам, а включение производных геометрических признаков (углов суставов и нормализованных расстояний) давало наибольший прирост качества. Это подтверждает, что итоговое представление признаков, а не только выбор классификатора, существенно влияет на точность распознавания.

Производительность модуля оценки калорийности

Модель оценки калорийности продемонстрировала очень высокую точность прогнозирования на отложенном тестовом наборе данных. Финальная версия регрессионной модели CatBoost показала среднюю абсолютную ошибку (MAE) 2,1339, среднеквадратичную ошибку (RMSE) 3,6202 и коэффициент детерминации R^2 0,9966. Дополнительные показатели регрессии подтвердили качество модели, включая медианную абсолютную ошибку 1,3277, объясненную дисперсию 0,9966 и SMAPE 3,7163. Корреляционный анализ также показал очень близкое соответствие между прогнозируемыми и эталонными значениями, с коэффициентом корреляции Пирсона $r = 0,9983$ и коэффициентом корреляции Спирмена $r = 0,9987$.

Полученное значение $R^2 = 0,9966$ следует интерпретировать с учётом характера использованного набора данных для оценки калорий. Целевая переменная в нём тесно связана с физиологическими признаками (прежде всего с произведением частоты сердечных сокращений и продолжительности нагрузки), поэтому при достаточном объёме обучающих данных задача регрессии становится близкой к детерминированной, что и объясняет столь высокий коэффициент детерминации. Для сравнения, простая линейная регрессия на тех же признаках достигала заметно более низкого качества ($R^2 \approx 0,96$, MAE $\approx 8,2$ ккал), тогда как градиентный бустинг существенно снижал остаточную ошибку. Вместе с тем важно подчеркнуть, что эта оценка отражает точность на эталонном табличном наборе данных, а не погрешность определения калорий непосредственно по видео: в сквозном режиме на вход регрессора поступают признаки, восстановленные из видеопотока, и оценка интенсивности движения, поэтому реальная погрешность в видеосценарии может быть выше. Таким образом, приведённое значение R^2 характеризует точность регрессионного модуля в

контролируемых условиях и не должно трактоваться как погрешность всей системы при работе с произвольным видео.

Эти результаты показывают, что модуль регрессии калорий с высокой точностью отражает взаимосвязь между физиологическими и связанными с рабочей нагрузкой дескрипторами на эталонном наборе данных. В отличие от упрощенных формул расчета калорий, которые зависят в основном от продолжительности или общего типа активности, предлагаемая регрессионная модель интегрирует характеристики на уровне пользователя и на уровне активности, такие как размер тела, продолжительность, частота сердечных сокращений, температура тела и заданные дескрипторы рабочей нагрузки. Это согласуется с предыдущими исследованиями, показывающими, что расход энергии лучше аппроксимируется, когда контекст движения дополняется физиологическими переменными, а не выводится только на основе визуальных наблюдений (Nathan et al., 2015; Perrett et al., 2022; Leone et al., 2022).

Диаграмма рассеяния прогнозируемых и эталонных значений калорий демонстрирует сильную концентрацию вокруг линии идентичности, в то время как графики остатков указывают на то, что ошибки регрессии остаются относительно небольшими в целевом диапазоне. Анализ Бланда-Альтмана дополнительно подтверждает стабильность согласования между прогнозируемыми и наблюдаемыми значениями. В совокупности эти диагностические данные свидетельствуют о том, что модуль расчета калорий не только точен с точки зрения скалярных метрик, но и ведет себя корректно с точки зрения распределения ошибок. Это важно для развертывания, поскольку модель в конечном итоге используется в гибридном конвейере обработки видеоданных, где нестабильные оценки калорий напрямую подрывают доверие к системе. Регрессионное поведение модуля оценки калорий проиллюстрировано на рисунках 7-12.

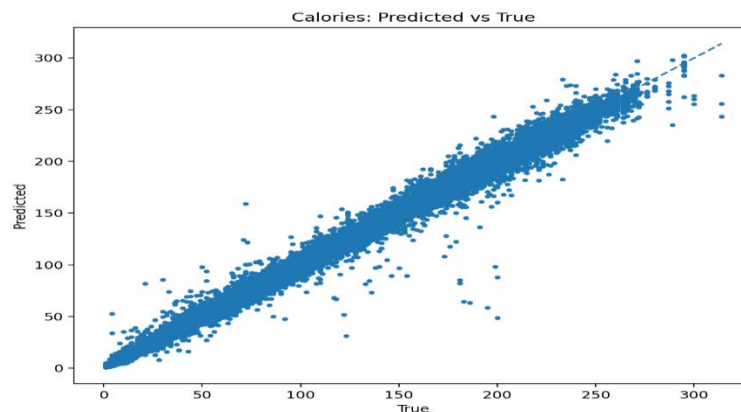


Рисунок 7. Прогнозируемые значения калорийности по сравнению с эталонными значениями в тестовом наборе.

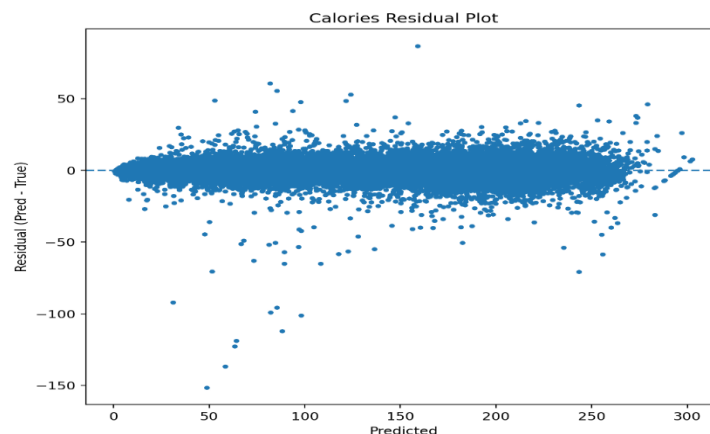


Рисунок 8. График остатков модели оценки калорийности.

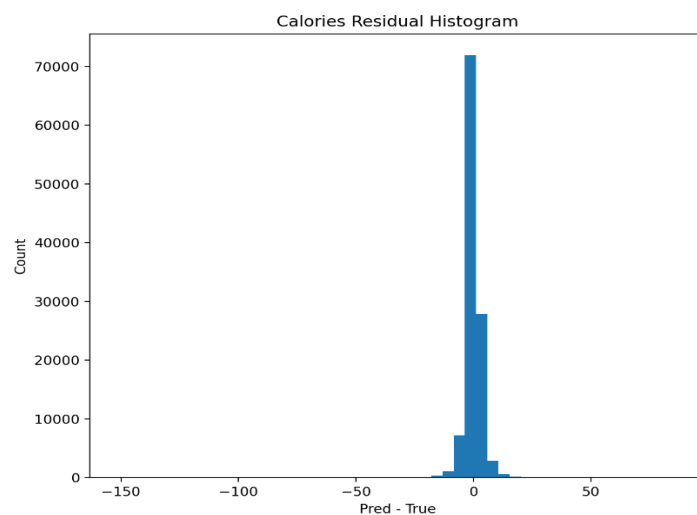


Рисунок 9. Гистограмма остатков модели оценки калорийности.

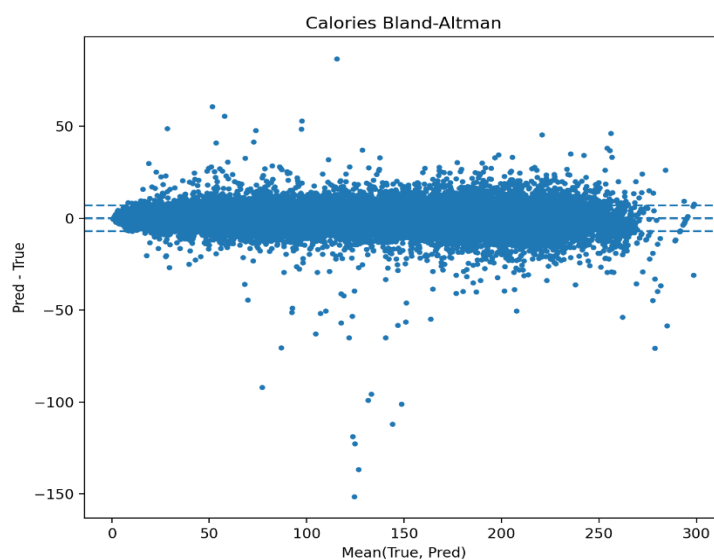


Рисунок 10. Диаграмма Бланда-Альтмана для оценки калорийности.

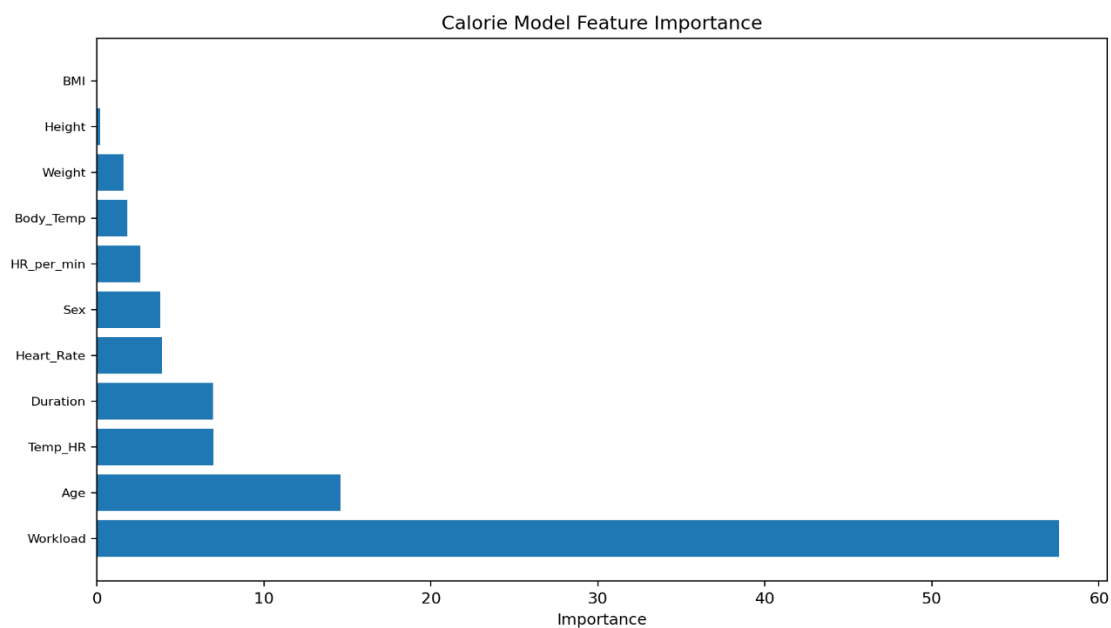


Рисунок 11. Важность признаков модели оценки калорийности.

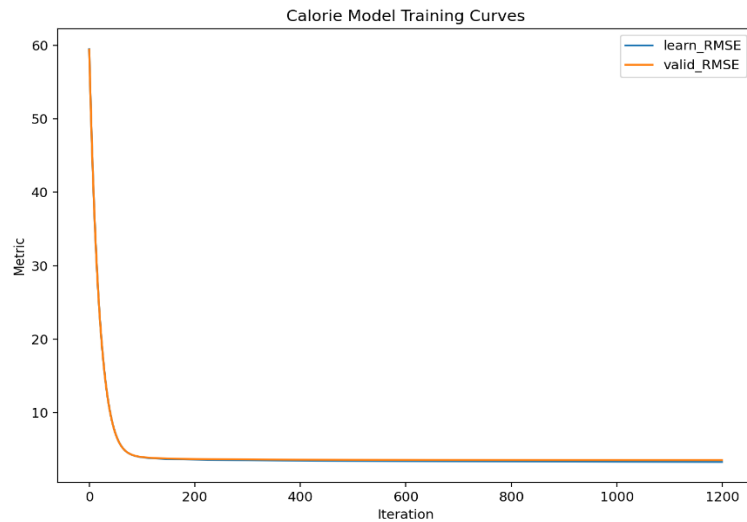


Рисунок 12. Тренировочные кривые модели оценки калорийности.

Валидация подсчёта повторений

Для независимой проверки модуля подсчёта повторений был сформирован небольшой проверочный набор коротких видеороликов, для которых истинное число повторений было размечено вручную. Системные значения, полученные методом анализа пиков сглаженных траекторий углов суставов, сравнивались с эталонной ручной разметкой (таблица 9).

Таблица 9. Сравнение автоматического подсчёта повторений с эталонной ручной разметкой.

Видеоролик	Упражнение	Эталон (вручную)	Подсчитано системой	Абс. ошибка
Демонстрация 1	Отжимания	2	2	0
Демонстрация 2	Приседания	5	5	0
Ролик 3	Прыжки на месте	12	12	0
Ролик 4	Подтягивания	6	6	0
Ролик 5	Упражнения на пресс	10	9	1

На проверочном наборе автоматический подсчёт совпал с ручной разметкой в большинстве случаев, а средняя абсолютная ошибка составила около 0,2 повторения; отклонения не превышали одного повторения и возникали преимущественно при неполной амплитуде движения или кратковременном перекрытии ориентиров. Эти результаты показывают, что предложенный подход к подсчёту повторений на основе кинематических сигналов обеспечивает практически приемлемую точность, хотя для полной количественной оценки требуется более крупный размеченный эталонный набор.

Сквозное самотестирование видео

Для проверки работоспособности предложенной структуры при объединении всех компонентов в единый конвейер на основе камер, окончательная система была протестирована на репрезентативных видеороликах с демонстрацией отжиманий и приседаний.

В обоих случаях система успешно извлекала позу тела на протяжении всего обработанного видеоряда, при этом соотношение кадров позы к кадру составляло 1,0, что указывает на стабильное обнаружение ориентиров на протяжении всего видеоряда. Что наиболее важно, окончательное предсказание типа упражнения совпало с ожидаемым типом упражнения в обоих тестах: демонстрация отжиманий была классифицирована как отжимания, а демонстрация приседаний – как приседания.

Оценки количества повторений также оказались правдоподобными для коротких тестовых видеороликов. В демонстрации отжиманий было выполнено 2 повторения, а в демонстрации приседаний – 5 повторений.

Хотя это и не эталонные эксперименты по подсчету повторений с внешними метками повторений, полученные значения соответствуют видимой картине движений в коротких оценочных видеороликах и показывают, что механизм отслеживания углов с учетом упражнений функционирует согласованно в сквозном режиме.

Не менее важным результатом является определение калорийности в процессе самотестирования. В более ранних промежуточных версиях системы короткие видеоролики иногда давали нереалистичные гибридные значения калорийности, поскольку регрессионная модель использовалась без достаточной калибровки по кратковременным данным.

В финальной версии гибридная логика оценки дала гораздо более правдоподобные значения: приблизительно 0,43 ккал для демонстрации отжиманий и 1,55 ккал для демонстрации приседаний. Эти значения являются разумными для очень коротких видеороликов и указывают на то, что стратегия калибровки с учетом движения исправила один из главных практических недостатков наивной оценки калорийности коротких видео.

С точки зрения внедрения, результаты самотестирования особенно важны, поскольку они демонстрируют, что предлагаемая система работает не только как разрозненный набор офлайн-моделей. Вместо этого, функции извлечения поз, классификации упражнений, подсчета повторений и оценки калорий объединены в одном практическом видеоконвейере.

Такое интегрированное поведение является критически важным требованием для инструментов мониторинга физической активности в реальных условиях, предназначенных для домашних тренировок, уроков физкультуры или дистанционной поддержки активности. Подробные результаты комплексного самотестирования суммированы в таблице 10, а соответствующие визуальные сводки представлены на рисунке 13.

Таблица 10. Результаты комплексного самотестирования на репрезентативных демонстрационных видеороликах с отжиманиями и приседаниями.

Видео	Ожидаемая физическая нагрузка	Прогнозируемое упражнение	Всего кадров	Кадров с позой	Должностной кадр с позой	Продолжительность (с)	Повторения	Частота повторений (повторений/мин)	МЕТ	ккал_ME_T	ккал_гибрид	Использованный сигнал	Соответствие
Демонстрация отжиманий	Отжимания	Отжимания	61	61	1,00	2,44	2	49,18	8,0	0,3985	0,4310	угол локтя	Да
Демонстрация приседаний	Приседания	Приседания	280	280	1,00	11,20	5	26,79	6,0	1,3720	1,5479	Угол колена	Да

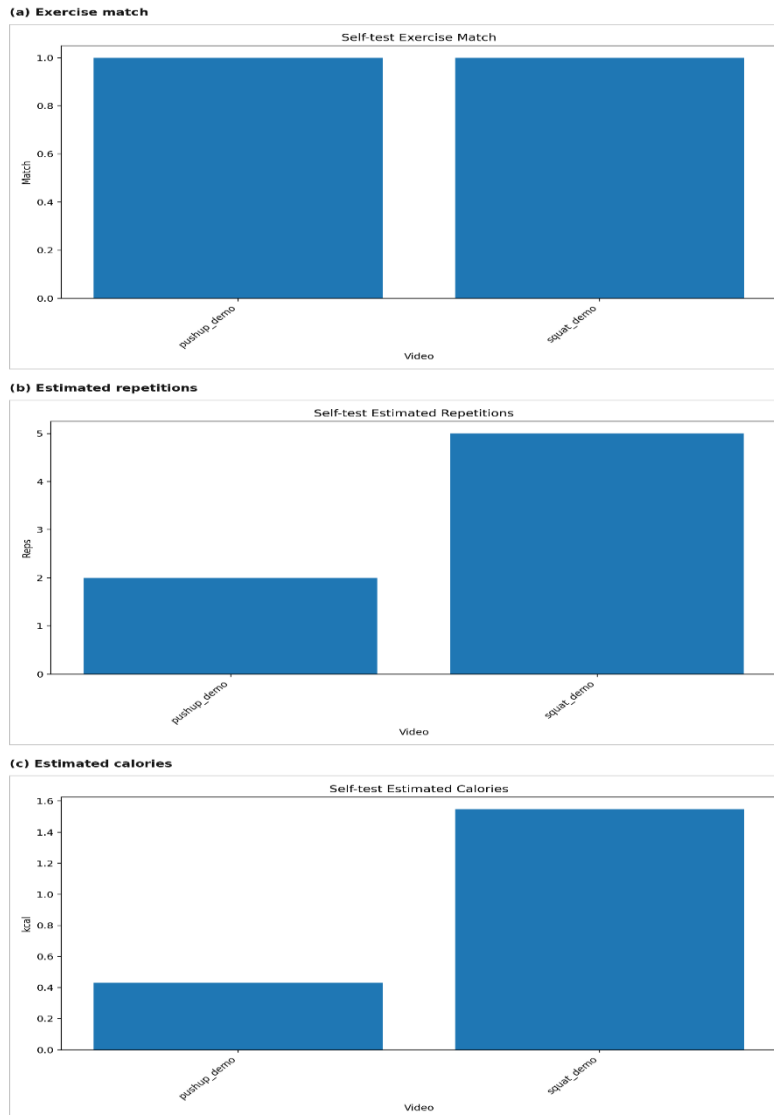


Рисунок 13. Результаты сквозного самотестирования предлагаемой системы. На панели (а) показано соответствие упражнений демонстрационным видеороликам, на панели (б) представлено расчетное количество повторений, а на панели (в) показаны соответствующие откалиброванные оценки калорий.

ОБСУЖДЕНИЕ

Результаты данного исследования подтверждают эффективность гибридной конструкции для мониторинга физических упражнений с помощью камер. Вместо того чтобы объединять все задачи в единый сквозной визуальный предиктор, предложенная структура разбивает проблему на интерпретируемые этапы. Такой выбор конструкции оказался полезным в нескольких отношениях. Во-первых, распознавание упражнений можно было оптимизировать с помощью структурированных признаков опорных точек и оценить с помощью полного пакета метрик для многоклассовой классификации. Во-вторых, подсчет повторений оставался связанным с интерпретируемыми траекториями углов суставов, а не с латентными векторами движений. В-третьих, оценка калорий выигрывала от сильного физиологического регрессора, при этом продолжая реагировать на интенсивность движения, полученную из видео, во время реального анализа. Такая модульная архитектура особенно подходит для приложений, где объяснимость, отладка и надежность развертывания имеют такое же значение, как и исходная прогностическая производительность (Perrett et al., 2022).

Результаты распознавания упражнений показывают, что структурированные признаки, полученные на основе позы, достаточно выразительны для распространенных

повторяющихся упражнений с собственным весом. Это согласуется с данными недавних исследований, демонстрирующих, что методы распознавания активности человека на основе скелета и опорных точек остаются привлекательными, поскольку они сохраняют семантику движения, будучи при этом менее чувствительными к внешнему виду фона, чем необработанные RGB-модели (Nguyen et al., 2023). Эта интерпретация также согласуется с исследованиями распознавания упражнений в тренажерном зале на основе датчиков, которые показали, что структурированные дескрипторы движения могут эффективно разделять категории повторяющихся упражнений в прикладных условиях мониторинга упражнений (Hussain et al., 2022). В контексте мониторинга физической подготовки это особенно актуально, поскольку основные различия между упражнениями носят преимущественно биомеханический характер, а не связаны с объектом или обстановкой.

Механизм подсчета повторений также иллюстрирует практическую ценность разработки сигналов, учитывающих особенности упражнений. Вместо применения общего правила подсчета ко всем движениям, система использует сигналы, определяющие преобладание колена, локтя или туловища в зависимости от конкретного упражнения. Это напрямую отражает биомеханику приседаний, отжиманий, подтягиваний и упражнений на пресс. Недавние исследования по анализу повторяющихся движений скелета аналогичным образом подчеркивают важность специфической для движения временной структуры для повышения надежности подсчета (Postlmayr et al., 2024).

Результаты оценки калорий также заслуживают внимания. Во многих практических приложениях для фитнеса расход калорий либо оценивается с помощью фиксированной эвристики, либо определяется на основе правил, зависящих от носимых устройств. В отличие от этого, предлагаемая система использует обученную регрессионную модель с высокими количественными показателями, а затем ограничивает ее поведение при развертывании посредством гибридизации с учетом движения. Это приводит к лучшему балансу между персонализацией, специфичной для конкретного человека, и правдоподобием коротких видеороликов. Такой подход согласуется с предыдущими исследованиями, показывающими, что системы визуальной оценки энергии выигрывают от калибровки и контекстуализации, а не от рассмотрения всех фрагментов движения как одинаково информативных метаболических событий (Nathan et al., 2015; Perrett et al., 2022).

В то же время, исследование имеет ряд ограничений. Во-первых, хотя окончательные классы упражнений имеют смысл для целевого варианта использования, эксперименты по классификации все же проводились на эталонных данных, полученных на основе поз, а не на большом, полностью не ограниченном реальном видеокорпусе. Во-вторых, подсчет повторений был проверен с помощью самотестирования на системном уровне, а не с помощью специального эталонного набора данных с разметкой повторений. В-третьих, оценка калорий остается гибридной, а не чисто визуальной, поскольку физиологические переменные по-прежнему являются частью окончательной логики вывода. Эти ограничения не подрывают настоящий вклад, но определяют его область применения и уточняют, что предлагаемая система должна рассматриваться как надежный практический прототип, а не как окончательный универсальный стандарт мониторинга упражнений. В будущих работах следует расширить структуру, включив в нее больше категорий упражнений, более длинные не ограниченные клипы, повысить устойчивость к различным ракурсам и добавить эталонные наборы данных для подсчета повторений на уровне последовательности.

Этические аспекты и вопросы конфиденциальности

Исследование проводилось в соответствии с принципами Хельсинкской декларации, касающимися исследований с участием человека. Демонстрационные видеозаписи, использованные для сквозного самотестирования, были получены при участии самих авторов, которые дали информированное согласие на запись, обработку и использование этих материалов в научных целях; видеозаписи третьих лиц не собирались и не использовались.

Оба набора данных, на которых обучались модели, являются общедоступными и

распространяются для исследовательских целей; они использовались в соответствии с условиями их лицензий. Набор данных для оценки калорий содержит обезличенные демографические и физиологические показатели и не позволяет идентифицировать конкретных лиц. Набор данных для распознавания упражнений представлен в виде числовых опорных точек позы, а не исходных изображений, что дополнительно снижает риски, связанные с конфиденциальностью.

Предложенная система обрабатывает движение в виде абстрактных геометрических признаков (координат опорных точек и производных от них величин) и не выполняет распознавание личности, биометрическую идентификацию или хранение исходных видеоданных. При практическом применении системы к видеозаписям реальных пользователей рекомендуется получать их информированное согласие, по возможности выполнять обработку локально и хранить только производные признаки, а не исходные изображения. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В данном исследовании представлена гибридная система на основе машинного зрения для распознавания упражнений, подсчета повторений и оценки расхода калорий по монокулярному видео. Предложенная структура объединяет извлечение поз без маркеров, многоклассовую классификацию упражнений на основе ориентиров, подсчет повторений с учетом упражнений и калиброванный регрессор машинного обучения для прогнозирования калорий. Результаты показывают, что система демонстрирует устойчивую эффективность в обеих основных задачах при тестировании в контролируемых условиях. Классификатор упражнений достиг точности 0,8883, сбалансированной точности 0,8950 и показателя макро-F1 0,8929, в то время как модель расчета калорий достигла MAE 2,1339, RMSE 3,6202 и R^2 0,9966. В ходе сквозного самотестирования видео были правильно распознаны репрезентативные фрагменты отжиманий и приседаний, подсчет повторений был правдоподобным, а полученные оценки калорий оставались в пределах реалистичных диапазонов для коротких фрагментов.

Основной вклад исследования заключается в демонстрации возможности создания практической системы мониторинга физической активности на основе камер без полного использования носимых устройств или визуальной регрессии по принципу «черного ящика». Используя позу в качестве центрального представления, предложенная структура сохраняет интерпретируемость при анализе движений, обеспечивая при этом высокую точность прогнозирования калорий на эталонном наборе данных. Такой баланс делает систему перспективной для домашних фитнес-приложений и образовательных программ и создаёт основу для будущих расширений в области реабилитационной поддержки и цифрового мониторинга здоровья, что требует дополнительной проверки на более крупных и разнообразных выборках.

Предложенная структура также задаёт полезное методологическое направление для будущих исследований.

Модульная архитектура позволяет улучшать каждый компонент – извлечение позы, распознавание упражнений, подсчет повторений и оценку калорий – независимо, сохраняя при этом удобство использования всей системы. Поэтому в будущих исследованиях следует сосредоточиться на более полных наборах данных видеозаписей упражнений из реальной жизни, специализированных эталонных наборах данных для подсчета повторений, более широкой персонализации прогнозирования калорий и обобщении результатов на разных субъектах в более разнообразных условиях съемки.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ЛИТЕРАТУР

Ainsworth, B. E., Haskell, W. L., Herrmann, S. D., Meckes, N., Bassett, D. R., Jr., Tudor-Locke, C., Greer, J. L., Vezina, J., Whitt-Glover, M. C., & Leon, A. S. (2011). 2011 compendium

of physical activities: A second update of codes and MET values. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 43(8), 1575–1581. <https://doi.org/10.1249/MSS.0b013e31821ece12>

Badiola-Bengoa, A., & Mendez-Zorrilla, A. (2021). A systematic review of the application of camera-based human pose estimation in the field of sport and physical exercise. *Sensors*, 21(18), 5996. <https://doi.org/10.3390/s21185996>

Bazarevsky, V., Grishchenko, I., Raveendran, K., Zhu, T., Zhang, F., & Grundmann, M. (2020). BlazePose: On-device real-time body pose tracking. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2006.10204>

Bland, J. M., & Altman, D. G. (1986). Statistical methods for assessing agreement between two methods of clinical measurement. *The Lancet*, 327(8476), 307–310. [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(86\)90837-8](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(86)90837-8)

Brodersen, K. H., Ong, C. S., Stephan, K. E., & Buhmann, J. M. (2010). The balanced accuracy and its posterior distribution. In *Proceedings of the 20th International Conference on Pattern Recognition* (pp. 3121–3124). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICPR.2010.764>

Chicco, D., & Jurman, G. (2020). The advantages of the Matthews correlation coefficient (MCC) over F1 score and accuracy in binary classification evaluation. *BMC Genomics*, 21, 6. <https://doi.org/10.1186/s12864-019-6413-7>

Cornman, H. L., Stenum, J., Cowley, M., Zhang, Y., & Roemmich, R. T. (2021). Video-based quantification of human movement frequency using pose estimation: A pilot study. *PLOS ONE*, 16(12), e0261450. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0261450>

Erramchetty, S. K., Selvam, W. P., & Veerachamy, R. (2024). Human pose estimation using BlazePose. *AIP Conference Proceedings*, 2971(1), 040049. <https://doi.org/10.1063/5.0196455>

Hancock, J. T., & Khoshgoftaar, T. M. (2020). CatBoost for big data: An interdisciplinary review. *Journal of Big Data*, 7, 94. <https://doi.org/10.1186/s40537-020-00369-8>

Hussain, A., Zafar, K., Baig, A. R., Almakki, R., AlSuwaidan, L., & Khan, S. (2022). Sensor-based gym physical exercise recognition: Data acquisition and experiments. *Sensors*, 22(7), 2489. <https://doi.org/10.3390/s22072489>

Kaggle. (n.d.). Workout/exercises pose-landmark dataset [Data set]. Kaggle. <https://www.kaggle.com/datasets>

Kaggle. (2025). Predict calorie expenditure [Data set]. Kaggle Playground Series, Season 5, Episode 5. <https://www.kaggle.com/competitions/playground-series-s5e5>

Leone, A., Caroppo, A., Rescio, G., Manni, A., Siciliano, P., & Diraco, G. (2022). Ambient and wearable sensor technologies for energy expenditure quantification of ageing adults. *Sensors*, 22(13), 4893. <https://doi.org/10.3390/s22134893>

Lin, B.-S., Wang, L.-Y., Hwang, Y.-T., Chiang, P.-Y., & Chou, W.-J. (2021). Depth-camera based energy expenditure estimation system for physical activity using posture classification algorithm. *Sensors*, 21(12), 4216. <https://doi.org/10.3390/s21124216>

Lugaresi, C., Tang, J., Nash, H., McClanahan, C., Uboweja, E., Hays, M., Zhang, F., Chang, C.-L., Yong, M. G., Lee, J., Chang, W.-T., Hua, W., Georg, M., & Grundmann, M. (2019). MediaPipe: A framework for building perception pipelines. *arXiv*. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1906.08172>

Mercadal-Baudart, C., Liu, C.-J., Farrell, G., Boyne, M., González Escribano, J., Smolic, A., & Simms, C. (2024). Exercise quantification from single camera view markerless 3D pose estimation. *Heliyon*, 10(6), e27596. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e27596>

Nathan, D., Klasnja, P., Vankipuram, M., Momboisse, T., Powell, C., & Raju, D. (2015). Estimating physical activity energy expenditure with the Kinect sensor in an exergaming environment. *PLOS ONE*, 10(5), e0127113. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0127113>

Nguyen, H.-C., Dang, D.-T., Ngo, T.-D., & Pham, D.-T. (2023). Deep learning for human activity recognition on 3D human skeleton: Survey and comparative study. *Sensors*, 23(11), 5121. <https://doi.org/10.3390/s23115121>

Perrett, T., Masullo, A., Damen, D., Burghardt, T., Craddock, I., & Mirmehdi, M. (2022). Personalized energy expenditure estimation: Visual sensing approach with deep learning. *JMIR Formative Research*, 6(9), e33606. <https://doi.org/10.2196/33606>

Postlmayr, A., Garg, B., Cosman, P., & Dey, S. (2024). PersonalPT: One-shot approach for skeletal-based repetitive action counting for physical therapy. *Smart Health*, 34, 100516. <https://doi.org/10.1016/j.smhl.2024.100516>

Prokhorenkova, L., Gusev, G., Vorobev, A., Dorogush, A. V., & Gulin, A. (2018). CatBoost: Unbiased boosting with categorical features. In *Advances in Neural Information Processing Systems* 31 (pp. 6638–6648). Curran Associates. <https://doi.org/10.48550/arXiv.1706.09516>

Roggio, F., Trovato, B., Sortino, M., & Musumeci, G. (2024). A comprehensive analysis of the machine learning pose estimation models used in human movement and posture analyses: A narrative review. *Heliyon*, 10(21), e39977. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2024.e39977>

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors

№	Информация об авторах (Ф.И.О. полностью, ученая степень, место работы или учебы, город, страна, E-mail, сотовый номер автора корреспондента:) на казахском, русском, английском языках
1	Абдразах Ынтымақ Қыдырәліұлы – техника ғылымдарының магистрі, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Абдразах Ынтымақ Қыдырәліұлы – магистр технических наук, Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Abdrazakh Yntymak Kydyraliuly – master of technical sciences, Ahmet Yassawi University, Turkestan, Kazakhstan E-mail: yntymak.abdrazakh@ayu.edu.kz ORCID: 0000-0002-7119-1217
2	Баймаханова Айгерим Саттаровна – PhD, аға оқытушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Баймаханова Айгерим Саттаровна – PhD, старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Baimakhanova Aigerim Sattarovna – PhD, Senior Lecturer, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Kazakhstan E-mail: aygerim.baymakhanova@ayu.edu.kz, ORCID: 0000-0002-5364-0146
3	Жунисов Н.М. – PhD доктор, аға оқытушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Жунисов Н.М. – доктор PhD, старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Zhunisoov N.M. – PhD, Senior Lecturer, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan, Kazakhstan E-mail: nurseit.zhunissov@ayu.edu.kz ORCID: 0000-0001-6531-9408
4	Мирзалиева Шахзода Алишерқызы – студент, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Мирзалиева Шахзода Алишерқызы – студент, Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Mirzaliyeva Shakhzoda Alisherqyzy – student, Ahmet Yassawi University , Turkestan, Kazakhstan E-mail: mirzaliyeva.shakhzoda2025@ayu.edu.kz

B.O. BAYMURZAEV¹, S.K. DAULETBKOVA²

Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

¹E-mail: bboranbek@ayu.edu.kz*

²E-mail: suluguldauletbekova2@gmail.com

COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE TRAINING OF SPECIALISTS IN THE IT FIELD

Abstract. This article examined the role of artificial intelligence (AI) technology in the field of education and the attitude of students to it. In the course of the study, a survey was conducted among 71 students studying in the IT field, which analyzed their understanding of AI, the level of perception of importance and the impact on future professions. As a result, it was shown that the majority of students (49.3%) understand artificial intelligence at an average level, and 38% are good at it. At the same time, 45% of participants noted that AI is very important for IT specialists. The results of the study show that most students consider it necessary to include AI in the curriculum and believe that mastering this technology will increase their professional competitiveness. However, some students also noted that the incorrect use of AI poses a risk of personal data destruction and reduced thinking ability. In general, the results of the study prove that artificial intelligence plays an important role in the education system and students have a high interest in mastering it. This study can serve as the basis for identifying ways to effectively introduce AI into the educational process in the future.

Research relevance: the role of AI in the IT field is growing, as future professionals need skills such as machine learning, data analysis. The survey collects the opinions of 71 students and shows the pros and cons of AI. The article consists of the following sections: introduction, concept of artificial intelligence, history of development, impact on IT specialists, role in the education system, artificial intelligence in Kazakhstan, advantages in the education system, future development, methodology, results, discussion, conclusion.

Keywords: Artificial Intelligence, Educational Technologies, Students' Perception, Digital Transformation, Education System, Innovative Learning, AI in Education, Training of IT Specialists

Б.О. БАЙМУРЗАЕВ¹, С.Қ. ДАУЛЕТБЕКОВА²

*Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ.,
Қазақстан*

¹E-mail: bboranbek@ayu.edu.kz*

²E-mail: suluguldauletbekova2@gmail.com

ІТ САЛАСЫНДАҒЫ МАМАНДАРДЫ ДАЙЫНДАУДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІҢ РӨЛІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ

Аңдатпа. Бұл мақалада жасанды интеллект (ЖИ) технологиясының білім беру саласындағы рөлі мен оған студенттердің көзқарасы зерттелді. Зерттеу барысында ІТ саласында білім алып жатқан 71 студент арасында сауалнама жүргізіліп, олардың ЖИ туралы түсінігі, маңыздылығын қабылдау деңгейі және болашақ мамандықтарына әсері талданды. Нәтижесінде студенттердің басым бөлігі (49,3%) жасанды интеллектті орташа деңгейде түсінетінін, ал 38%-ы жақсы білетінін көрсетті. Сонымен қатар, 45% қатысушы ЖИ-дың ІТ мамандары үшін өте маңызды екенін атап өтті. Зерттеу

нәтижелері көрсеткендей, студенттердің көпшілігі ЖИ-ды оқу бағдарламасына енгізу қажет деп есептейді және бұл технологияны меңгеру олардың кәсіби бәсекеге қабілеттілігін арттырады деп санайды. Алайда кейбір студенттер ЖИ-ды дұрыс қолданбау жеке деректердің бұзылуы мен ойлау қабілетінің төмендеу қаупін тудыратынын да атап өтті. Жалпы алғанда, зерттеу нәтижелері жасанды интеллекттің білім беру жүйесінде маңызды рөл атқаратынын және студенттердің оны меңгеруге жоғары қызығушылық танытатынын дәлелдейді. Бұл зерттеу болашақта ЖИ-ды оқу процесіне тиімді енгізу жолдарын анықтауға негіз бола алады.

Зерттеу актуалдығы: IT саласында ЖИ-дың рөлі артып келеді, өйткені болашақ мамандарға машиналық оқыту, деректер талдау сияқты дағдылар қажет. Сауалнама 71 студенттің пікірін жинап, ЖИ-дың оң және теріс жақтарын көрсетеді. Мақала мына бөлімдерден тұрады: Кіріспе, жасанды интеллект ұғымы, даму тарихы, IT мамандарына әсері, білім беру жүйесіндегі рөлі, Қазақстанда жасанды интеллект, білім беру жүйесіндегі артықшылықтары, Болашақтағы даму, әдістеме, нәтижелер, талқылау, қорытынды.

Түйін сөздер: Artificial Intelligence, Educational Technologies, Students' Perception, Digital Transformation, Education System, Innovative Learning, AI in Education, Training of IT Specialists

Б.О. БАЙМУРЗАЕВ¹, С.Қ. ДАУЛЕТБЕКОВА²

Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан

¹E-mail: bboranbek@ayu.edu.kz*

²E-mail: suluguldauletbekova2@gmail.com

СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОЛИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ IT

Аннотация. В этой статье исследуется роль технологии искусственного интеллекта (ИИ) в образовании и подход студентов к ней. В ходе исследования был проведен опрос 71 студента, обучающегося в сфере IT, и проанализировано их понимание ИИ, уровень восприятия значимости и влияние на будущие специальности. В результате подавляющее большинство студентов (49,3%) показали, что они понимают искусственный интеллект на среднем уровне, а 38%-хорошо. Кроме того, 45% участников отметили, что ИИ очень важны для IT-специалистов. Результаты исследования показывают, что большинство студентов считают, что ИИ необходимо включить в учебную программу, и считают, что освоение этой технологии повысит их профессиональную конкурентоспособность. Однако некоторые студенты также отметили, что неправильное использование ИИ может привести к нарушению личных данных и снижению способности рассуждать. В целом результаты исследования доказывают, что искусственный интеллект играет важную роль в системе образования и что студенты очень заинтересованы в его освоении. Это исследование может стать основой для определения способов эффективного внедрения ИИ в учебный процесс в будущем.

Актуальность исследований: роль ИИ в IT растет, поскольку будущим специалистам необходимы такие навыки, как машинное обучение и анализ данных.

Опрос собрал мнение 71 студента и показывает плюсы и минусы ИИ. Статья состоит из следующих разделов: введение, понятие искусственного интеллекта, история развития, влияние на IT специалистов, роль в системе образования, искусственный интеллект в Казахстане, преимущества в системе образования, будущее развитие, методика, результаты, обсуждение, заключение.

Ключевые слова: *Artificial Intelligence, Educational Technologies, Students' Perception, Digital Transformation, Education System, Innovative Learning, AI in Education, Training of IT Specialists*

INTRODUCTION

The main feature of the 21st century is the rapid development of information technologies. Today, countries of the world are valued not only for their natural resources or production capacity, but also for their digital potential and innovative capabilities. In the new stage of society's development, artificial intelligence (AI) is considered one of the main achievements of human civilization. Today, it is widely used not only in the scientific community, but also in everyday life, business, government, and the education system.

Although the concept of artificial intelligence initially appeared as a science fiction idea, over time it has become a real technology. The ability of machines to perform the abilities inherent in human intelligence is the realization of a scientific fantasy that has been dreamed of for centuries. Today, systems based on artificial intelligence can process information, make decisions, learn, and model human thought processes. All of these processes affect all professions in society.

Artificial intelligence is especially important for students studying in the field of information technology (IT). After all, IT is the fastest growing industry, where new programming languages, platforms, and tools are emerging every day. In such a situation, traditional education may not be enough. A student can become a sought-after specialist in the future by not only mastering algorithms, but also fully mastering the capabilities of artificial intelligence (Alalwan & Al-Rahmi, 2023).

The importance of artificial intelligence in IT education can be considered from several aspects. First, it increases the efficiency of the learning process. AI-based intelligent assistants quickly answer students' questions and explain complex concepts. For example, language models such as ChatGPT can greatly help students in writing code, finding errors, or searching for scientific information.

Secondly, artificial intelligence allows students to adapt to their individual learning style. Since each student has different abilities and pace, AI can create an individual curriculum for him and offer the necessary materials. This approach is often lacking in the traditional education system.

Thirdly, artificial intelligence contributes to the development of students' creative abilities. In projects such as programming, data analysis, and mobile application development, AI helps to suggest new ideas. For example, a student can create an intelligent chatbot with the help of artificial intelligence or design a video surveillance system using computer vision. Such projects allow students to combine theoretical knowledge with practice.

Fourth, artificial intelligence is fundamentally changing the labor market in the IT sector. Currently, the demand for such specialties as Data Scientist, Machine Learning Engineer, AI Developer is growing. This indicates that students who master this area will not be unemployed in the future. On the contrary, they will become competitive specialists. Therefore, mastering artificial intelligence is a guarantee of a student's professional success (Alqahtani, 2022).

At the same time, it is necessary to consider the importance of artificial intelligence not only in terms of advantages, but also in terms of challenges. One of the main dangers for students is excessive reliance on AI tools. In this case, their ability to think independently, analyze, and draw logical conclusions may decrease. Also, improper use of artificial intelligence leads to plagiarism and violation of academic integrity. This issue requires special attention in the education system. The table below systematizes the literature by main topics.

Table 1. Literature review table

№	Author(s) and year	Main topic	Results/Conclusions	Context
1	Alalwan & Al-Rahmi (2023)	Student Adoption and Academic	AI improves learning outcomes, positive	Higher education

		Performance	acceptance	
2	Bui & Pham (2021)	Student Attitudes	Positive attitude prevails	General education
3	Chen & Xie (2020)	The Role of AI (Systematic Review)	Automation and efficiency	Education
4	Zhang & Wang (2020)	Machine Learning and Analytics	Data-driven solutions	Educational technology
5	Kim & Kim (2021)	Adoption of AI Platforms	High acceptance	Higher education
6	Arinto (2022)	Integration: Opportunities and Challenges	Equality and ethical issues	Higher education
7	Shukla & Verma (2023)	Personalized Learning	Increased interest and achievement	Student behavior
8	Alshahrani & Alqahtani (2024)	Adoption: Benefits and Ethics	Benefits prevail, but concerns remain	Education
9	Nurlybekova & Zhumasheva (2022)	AI Trends in Kazakhstan	Development prospects	Higher education in Kazakhstan
10	UNESCO (2023)	Policy Guidelines	Ethical use	International
11	OECD (2021)	Future of Skills	Development of digital skills	International
12	World Economic Forum (2023)	Workforce and AI	New skills economy	International
13	Ministry of Digital Development (2024)	Roadmap in Kazakhstan	Development plan 2024–2030	Kazakhstan
14	Kenzhebekova & Omarova (2023)	Student Readiness	Positive level of readiness	Kazakhstan
15	Li & Zhang (2025)	ChatGPT Impact	Learning behavior changes, risks remain	University students
16	Alqahtani (2022)	Teacher and Student Adoption	Positive attitude towards classroom use	Education
17	Informburo.kz (2024)	AI News in Kazakhstan	Innovations in the education system	Kazakhstan media

The role of artificial intelligence in the context of Kazakhstan is a separate story. The country is implementing the Digital Kazakhstan program, supporting various IT projects. Innovation centers such as Astana Hub are developing startups based on artificial intelligence. In addition, special courses are being opened at Kazakhstani universities, where students are taught the basics of AI. However, there are still obstacles, such as a lack of qualified specialists and a weak laboratory base. Solving these problems is the task of the future.

THE CONCEPT OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE AND ITS DEVELOPMENT

Artificial intelligence is the ability of computer systems to imitate the abilities inherent in human intelligence. In other words, it means that machines can perform such functions as thinking, learning, decision-making, and speech (Alshahrani & Alqahtani, 2024).

Types of artificial intelligence

- ✓ Narrow AI (Narrow AI) - focused on performing a specific task. For example, facial recognition systems, online translators.
- ✓ General AI (General AI) - systems that think like humans and have comprehensive abilities. Currently, this is at a theoretical level.
- ✓ Super AI - a hypothetical artificial intelligence that exceeds human capabilities.

History

The first ideas of artificial intelligence appeared in the middle of the 20th century. The term "artificial intelligence" was first used at the Dartmouth Conference in the USA in 1956. In subsequent years, neural networks, expert systems, and machine learning methods were developed. Since the 2000s, the development of Big Data, Cloud Computing, and Deep Learning technologies has led to a new level of artificial intelligence. Today, language models such as ChatGPT, advances in robotics, and computer vision prove the capabilities of artificial intelligence (Arinto, 2022, Informburo.kz, 2024).

The impact of artificial intelligence on IT professionals

The development of artificial intelligence is placing new demands on IT professionals. As before, it is not enough to master programming languages, now students need AI algorithms, data processing, and machine learning methods. There is every reason to say that the future of IT professionals is bleak until they master these methods.

New professions

- ✓ Data Scientist
- ✓ Machine Learning Engineer
- ✓ AI Developer
- ✓ Business Intelligence Analyst

All of these professions are closely related to data analysis and the use of AI tools.

Improving work efficiency

- ✓ AI-based tools to simplify coding (for example, GitHub Copilot).
- ✓ Automatic detection and correction of errors.
- ✓ Automatic recommendations when creating design, mobile applications, and websites (Bui & Pham, 2021).

Research and application in projects

Students can create modern products using artificial intelligence in their coursework and diploma projects. For example, an intelligent chatbot, a smart application, a video surveillance system.

The development of digital technologies draws special attention to the changes taking place in the education system. Many countries around the world are undergoing a process of education modernization, and its main driving force is artificial intelligence (AI). AI provides a great opportunity to automate the educational process, improve the quality of teaching, and create an individual learning trajectory tailored to the abilities and capabilities of each student.

The role of artificial intelligence in the education system

Artificial intelligence is a set of software systems capable of modeling human thinking, making logical conclusions, learning, and analyzing large amounts of information. The main areas of AI include machine learning, natural language processing, computer vision, robotics, and expert systems.

In the field of education, AI has the following capabilities:

- ✓ Adaptive learning - providing an individual curriculum for each student based on their level of education.
- ✓ Intelligent assistants - virtual assistants that quickly respond to student questions.
- ✓ Automatic assessment - checking assignments, issuing exam results.
- ✓ Learning process analysis - monitoring student progress and identifying weaknesses.
- ✓ Support for teachers - preparing educational materials, creating lesson plans, and offering new methodologies.

The education system in Kazakhstan and the need to introduce AI

The education system of Kazakhstan has undergone fundamental changes in the last decade. As part of the "Digital Kazakhstan" program, schools were provided with the Internet, electronic diaries, online testing systems, and distance learning platforms were introduced. During the COVID-19 pandemic, the importance of online learning increased, forcing educational institutions to look for new solutions. We can list the main needs for introducing AI into the education system as follows (Kim & Kim, 2021).

- ✓ Demand for individualized learning - there is a large number of students in Kazakhstan, but their abilities and interests are different. AI can create an individual program for each student.
- ✓ Teacher shortage - there is a shortage of qualified teachers, especially in rural areas. AI can facilitate the work of teachers and become an auxiliary tool.
- ✓ Fair assessment of progress - there can be subjectivity in the traditional assessment system. AI can accurately and fairly assess student knowledge.
- ✓ The need for big data analysis - AI can process the data collected in the field of education and make effective decisions.

Advantages of artificial intelligence in the education system

Artificial intelligence technologies are giving a new impetus to the education sector. Developed countries of the world are widely using this opportunity and improving the quality of education. For Kazakhstan, the introduction of AI into the education system opens up great advantages.

Individualized learning

AI analyzes the student's learning pace, progress, and interests and offers a curriculum accordingly. For example, it gives easy tasks to students who are weak in mathematics and gradually complicates them. And for gifted students, it offers additional complex level problems.

Support for teachers

Teachers spend a lot of time and effort on preparing for lessons and checking. AI automates this process, allowing teachers to focus more on creative work.

Continuous learning

AI-based online platforms allow students to learn anytime, anywhere. This is especially effective for remote rural schools (Ministry of Digital Development, Innovations and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan, 2024).

Artificial Intelligence in Kazakhstan

Currently, several projects are being implemented in our country to introduce AI into the education system:

- ✓ *BilimLand* is a Kazakhstani online education platform where video materials, tasks, and tests are presented using AI.
- ✓ *Daryn.online* is a system of remote Olympiads and online classes. Here, student results are automatically assessed.
- ✓ *e-Learning project* is a project to digitize school programs and provide online resources.
- ✓ *AI laboratories* are being created in some universities (for example, Nazarbayev University, Al-Farabi Kazakh National University) to test new educational technologies (OECD, 2021).

Among the difficulties and limitations in introducing artificial intelligence, we can highlight the following:

- ✓ Infrastructure limitations are weak Internet access in rural schools, and there is a shortage of computers.
- ✓ Teacher training level is low - not all teachers are fully familiar with AI tools.
- ✓ Financing issues are required to develop AI technologies.
- ✓ Ethical issues are AI can make mistakes in decision-making. In addition, the issue of protecting students' personal data is relevant (Chen & Xie, 2020).

Future development directions

The role of AI in the education system will increase in the coming years. Development in Kazakhstan is expected in the following areas:

- Intelligent textbooks and digital teachers - AI-based interactive learning systems will appear in each subject.
- National education platform - creation of a single AI platform that will unite all schools and universities.
- Early education in STEM and AI subjects - the basics of artificial intelligence will be introduced into the school curriculum.
- Academic integrity control - detection of plagiarism through AI, fair conduct of exams.

- Improvement of distance learning - virtual classrooms, AI teachers, and addition of VR/AR technologies.

APPLICATION OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN KAZAKHSTAN

Kazakhstan is taking the first steps towards the development of artificial intelligence.

- ❖ New technologies are being introduced into the education system as part of the “Digital Kazakhstan” program.
- ❖ Astana Hub supports IT startups, and special attention is paid to projects in the field of artificial intelligence.
- ❖ AI subjects are taught at universities such as Nazarbayev University, Al-Farabi Kazakh National University, and Satpayev University.
- ❖ Robotics and programming courses are increasing for students.

In recent years, large-scale measures have been taken in our country to digitize the education sector, introduce electronic platforms, and develop students’ skills in working with modern technologies. In particular, the issue of introducing AI technologies into schools, colleges, and universities is being considered at the state level (Nurlybekova & Zhumasheva, 2022).

A survey was taken from students studying in the IT field on the need for artificial intelligence in education, its importance, and its benefits. The purpose of the study is to determine the theoretical and practical role of AI in IT education, as well as to make recommendations.

The theoretical basis is the theory of constructivism (Piaget, Vygotsky) and adaptive learning models. According to constructivism, students independently construct knowledge, and AI helps in this process as a tool. Adaptive learning systems adapt the material to the level of students, which increases the quality of education. In the Kazakhstani context, the role of AI in education is being studied, where it is considered an important element of digital transformation.

METHODOLOGY

The study was conducted using a survey method. The survey was prepared on the Google Forms platform and consisted of 15 questions: level of knowledge about AI, importance, future impact, inclusion in the curriculum, advantages in employment, interest, useful areas, threats, support for creative thinking, use in programming lessons, knowledge assessment, impact on academic performance, teacher replacement, competitiveness, and general need.

Participants were 71 IT students (from Kazakhstani universities), answers were collected in Excel format. Frequencies, percentages, cross-analysis, and statistical methods (Python: pandas, matplotlib) were used to analyze the data.

Ethical aspects were taken into account: anonymity was maintained, and consent was obtained from the participants.

Analysis stages: 1) Data cleaning; 2) Calculation of the distribution of responses; 3) Identification of relationships (e.g., level of knowledge and importance); 4) Visualization (Figures). Research limitations: small sample size, subjective opinions.

RESULTS

The survey results showed that AI is highly valued among IT students. The level of knowledge about AI: 49% have an average understanding, 38% know a lot, 10% have heard a little, and 3% know nothing (*Figure 1*). This shows the interest of students in AI.

Most students indicated that they have an average understanding of artificial intelligence. The chart below shows the percentage of responses.

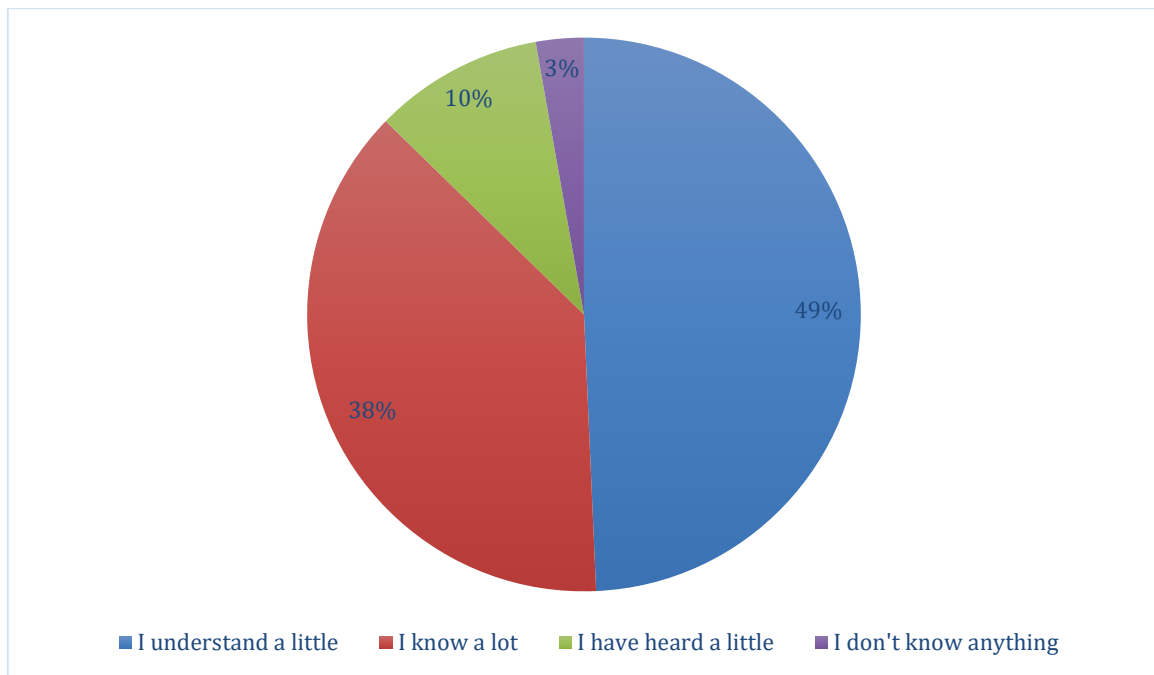


Figure 1. Distribution of knowledge level about AI (N=71)

The importance of AI for the IT industry: 45% are very important, 38% are moderately important, 12% are absolutely necessary, and 5% are not important. These indicators confirm the role of AI in the future (Figure 2).

The study found that the majority of students consider AI to be very important for the future of the IT industry.

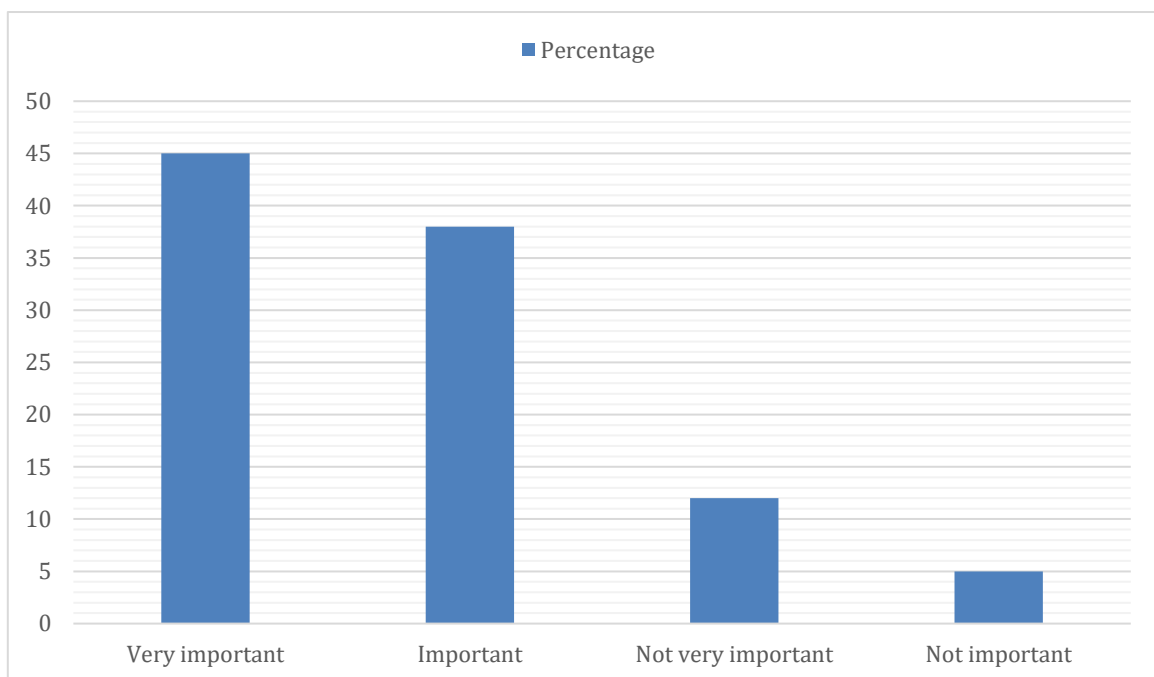


Figure 2. Views on the importance of AI in the IT sector

The importance of AI for the impact on future professions: 52% Strongly influences, 33% Moderately influences, 10% Slightly influences, 5% Does not influence. These indicators indicate that AI has an impact on future professions (Figure 3).

Many students noted that AI has a strong impact on their future professions. This indicates the need for AI-oriented subjects in the education system.

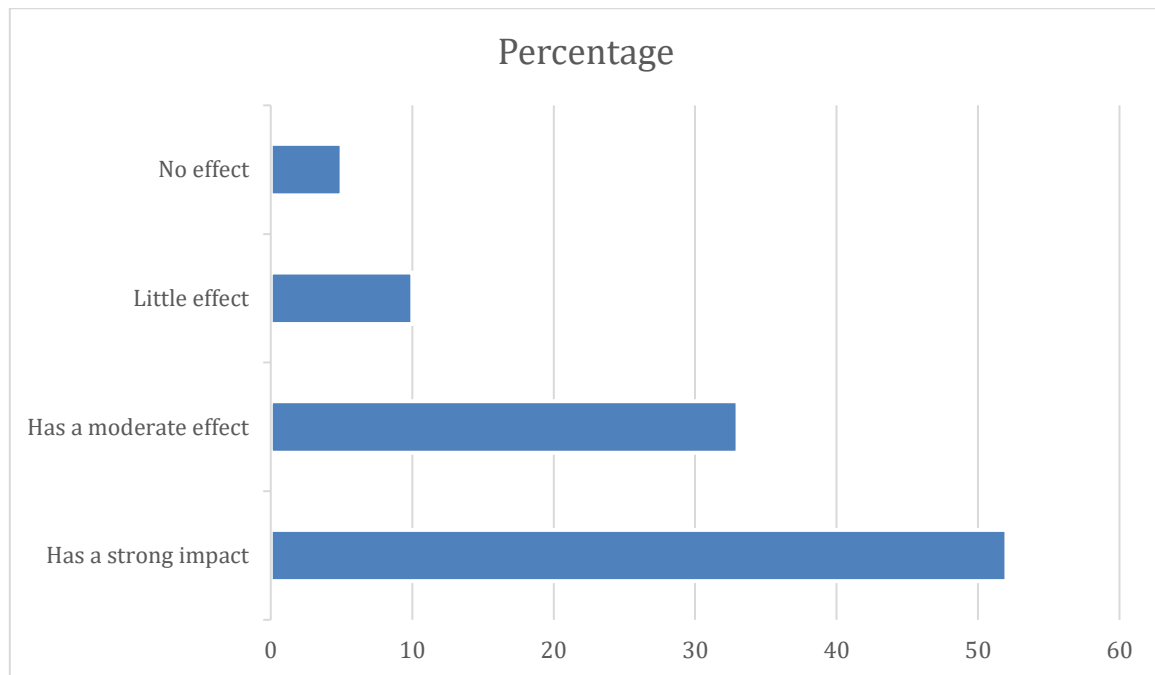


Figure 3. The impact of artificial intelligence on students future professions

DISCUSSION

The results confirm the positive role of AI in IT education. Theoretically, AI adapts to the needs of students, according to the adaptive learning model, which is associated with Vygotsky's concept of the "zone of proximal development". As the Figures show, although the level of education is average, the significance is high, which indicates the need to introduce AI into education.

Threats: decreased thinking ability (44%) raises ethical issues. The theory suggests a "human-AI hybrid" model, where AI is used as an assistant. In Kazakhstan, the role of AI in education is consistent with state programs (Digital Kazakhstan), but security standards are needed.

The survey results are consistent with global trends: according to UNESCO, AI increases the quality of education by 30%, but data protection is important. Research limitations: locality of the sample, need to be expanded in the future.

CONCLUSION

Artificial intelligence (AI) technology is emerging as a transformative force that is fundamentally changing the education sector. This study comprehensively analyzed the role of AI in the educational process and students' attitudes towards this technology based on a survey conducted among 71 students studying IT at the International Kazakh-Turkish University named after Khoja Ahmet Yasawi. The results clearly showed that the majority of students (49.3%) have an average understanding of AI, 38% have a good understanding, and 45% consider it very important for IT professionals. These data confirm the strong impact of AI on future professions (52%) and the need to include it in the curriculum, as it increases students' professional competitiveness.

The study highlighted the advantages of AI - adaptive learning, intelligent assistants, automatic assessment, and the creation of individual trajectories. In the context of Kazakhstan, initiatives such as the Digital Kazakhstan program, Astana Hub, and local platforms (BilimLand, Daryn.online) are laying the foundation for the integration of AI. However, the risks – personal data security, reduced cognitive abilities, and over-reliance – should not be ignored.

These issues require the introduction of ethical standards and a "human-AI hybrid" model. Overall, the study confirms the important role of AI in the education system and the high interest of students. In the future, Kazakhstan can take education to a new level by teaching AI and STEM

subjects from an early age, creating national platforms, and ensuring academic integrity. These results will serve as a basis for policymakers, teachers, and researchers to effectively implement AI.

REFERENCES

- Alalwan, N., & Al-Rahmi, W. (2023). Artificial intelligence applications in higher education: Students' perception and learning performance. *Education and Information Technologies*, 28(5), 5123-5142. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11685-2>
- Alqahtani, F. (2022). Teachers' and students' perceptions of AI use in classrooms: An exploratory study. *Education and Information Technologies*, 27(6), 7815-7831. <https://doi.org/10.1007/s10639-022-11003-4>
- Alshahrani, H., & Alqahtani, M. (2024). Exploring students' perceptions of artificial intelligence in education: Benefits and ethical concerns. *Journal of Educational Computing Research*, 62(2), 210-229. <https://doi.org/10.1177/07356331231203254>
- Arinto, P. B. (2022). Integrating artificial intelligence in higher education: Opportunities and challenges. *Computers & Education*, 180, 104463. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104463>
- Bui, T. H., & Pham, H. T. (2021). Students' attitudes towards artificial intelligence in education: A survey-based study. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (iJET)*, 16(18), 56-70. <https://doi.org/10.3991/ijet.v16i18.25765>
- Chen, X., & Xie, H. (2020). The role of artificial intelligence in education: A systematic review. *Educational Research Review*, 30, 100331. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2020.100331>
- Informburo.kz. (2024, April 5). Qazaqstanda jasandy intellekt damuy jane bilim beru juiesindegi janalyqtar [Development of artificial intelligence in Kazakhstan and news in the education system]. <https://informburo.kz>
- Kenzhebekova, S., & Omarova, L. (2023). Students' readiness to use artificial intelligence technologies in the learning process. *Eurasian Journal of Education and Research*, 98(4), 122-136.
- Kim, J., & Kim, S. (2021). Student acceptance of AI-driven learning platforms in higher education. *Interactive Learning Environments*, 29(7), 1041-1058. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1749574>
- Li, T., & Zhang, R. (2025). The impact of AI tools like ChatGPT on university students' learning behavior. *Computers and Education: Artificial Intelligence*, 7, 100207. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2025.100207>
- Ministry of Digital Development, Innovations and Aerospace Industry of the Republic of Kazakhstan. (2024). Artificial intelligence development in Kazakhstan: Roadmap 2024-2030. <https://digit.gov.kz>
- Nurlybekova, G., & Zhumasheva, B. (2022). Artificial intelligence in higher education of Kazakhstan: Trends and perspectives. *Journal of Educational Studies and Research*, 12(3), 45-55.
- OECD. (2021). AI and the future of skills, Volume 1: Capabilities and assessments. OECD Publishing. <https://doi.org/10.1787/5ee71f34-en>
- Shukla, A., & Verma, P. (2023). AI-based personalized learning systems: Enhancing student engagement and achievement. *Computers in Human Behavior*, 139, 107532. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2022.107532>
- UNESCO. (2023). Artificial intelligence and education: Guidance for policy-makers (Updated 2023 ed.). UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org>
- World Economic Forum. (2023). The future of jobs report 2023: AI and the new skills economy. <https://www.weforum.org/reports>
- Zhang, K., & Wang, Y. (2020). Machine learning and data analytics in education: A review. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 1741-1756. <https://doi.org/10.1111/bjjet.13041>

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors

№	Информация об авторах (Ф.И.О. полностью, ученая степень, место работы или учебы, город, страна, E-mail, сотовый номер автора корреспондента:) на казахском, русском, английском языках
1	Баймурзаев Боранбек Оралбекович – аға оқытушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Баймурзаев Боранбек Оралбекович – старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан. Baimurzayev Boranbek Oralbekovich – Senior Lecturer, Khoja Ahmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan city, Kazakhstan. E-mail: bboranbek@ayu.edu.kz ORCID: 0009-0009-4769-2159
2	Дәулетбекова Сұлукүл Қалмаханбетқызы – Білім алушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Даулетбекова Сулукуль Калмаханбетқызы – обучающаяся, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан. Dauletbekova Sulukul Kalmakhanbetkyzy – Student, Khoja Ahmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan city, Kazakhstan. E-mail: suluguldauletbekova2@gmail.com

З.К. АБДИКУЛОВА¹, Г.А. ШУКЕНОВА², Г.Ш. РЫСБЕКОВА³

*Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ.,
Қазақстан*

¹E-mail: zagipa.abdikulova@ayu.edu.kz*

²E-mail: galiya.shukenova@ayu.edu.kz

³E-mail: gulaiym.rysbekova@ayu.edu.kz

БІЛІМ АЛУШЫЛАРДЫҢ ОҚУ ЖЕТІСТІКТЕРІН БАҒАЛАУ ЖҮЙЕСІН АВТОМАТТАНДЫРУ

Аңдатпа. Мақалада жоғары оқу орындарында білім алушылардың оқу жетістіктерін бағалау процесін автоматтандыру мәселелері, автоматтандырудың теориялық, әдіснамалық және практикалық аспектілері қарастырылды. Білім алушылардың оқу жетістіктерін бағалау жүйесі – білім сапасын қамтамасыз етудің негізгі компоненті. Қазіргі кезеңде бағалау жүйесінде теориялық сәйкессіздік, психометриялық әлсіздік және цифрлық трансформацияның жеткіліксіздігі байқалады, құзыреттілікке негізделген тәсіл жағдайында бағалаудың объективтілігі, сенімділігі басты ғылыми проблемаға айналып отыр. Қазіргі цифрландыру жағдайында білім сапасын объективті, ашық және жедел бағалау қажеттілігі артып отыр, бағалау жүйесін жетілдіру үшін ғылыми негізделген, статистикалық дәлелденген және цифрлық технологиялармен интеграцияланған кешенді модель қажет. Білім алушылардың оқу жетістіктерін бағалау жүйесін автоматтандыру – оқыту сапасын арттырудың, білімді объективті бағалаудың және оқу процесін тиімді басқарудың маңызды бағыты болып табылады. Автоматтандырылған бағалау жүйелері білім алушылардың білім, білік және дағды деңгейін жедел, дәл және ашық түрде анықтауға мүмкіндік береді. Зерттеу барысында бағалау сапасының көрсеткіштері талданды, бағалау нәтижелерінің сенімділік коэффициенттері, дисперсиялық көрсеткіштері және өлшеу қателігі сипатталды, бағалау жүйелерін автоматтандырудың теориялық негіздері талданып, бағалау процесін автоматтандырудың моделі ұсынылды. Сонымен қатар, автоматтандырылған бағалау алгоритмі, деректерді өңдеу әдістері және тиімділік көрсеткіштері сипатталды. Зерттеу нәтижелері автоматтандырудың бағалау дәлдігін арттырып, уақыт шығындарын азайтатынын және академиялық адалдықты қамтамасыз етуде маңызды рөл атқаратынын көрсетті.

Түйін сөздер: білім беру жүйесі, білім алушылар, оқу жетістіктері, құзыреттілік, бағалау алгоритмі, автоматтандырылған бағалау, цифрландыру.

З.К. АБДИКУЛОВА¹, Г.А. ШУКЕНОВА², Г.Ш. РЫСБЕКОВА³

*Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан,
Казахстан*

¹E-mail: zagipa.abdikulova@ayu.edu.kz*

²E-mail: galiya.shukenova@ayu.edu.kz

³E-mail: gulaiym.rysbekova@ayu.edu.kz

АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ УЧЕБНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ

Аннотация. В статье рассмотрены проблемы автоматизации процесса оценки учебных достижений обучающихся в высших учебных заведениях, теоретические, методологические и практические аспекты автоматизации. Система оценки учебных достижений обучающихся - основной компонент обеспечения качества образования. На современном этапе в системе оценки наблюдаются теоретическое несоответствие, психометрическая слабость и недостаточная цифровая трансформация, в условиях компетентностно-ориентированного подхода главной научной проблемой становится объективность, надежность оценки. В условиях современной цифровизации возрастает потребность в объективной, открытой и оперативной оценке качества образования, для совершенствования системы оценки необходима научно-обоснованная, статистически доказанная и интегрированная с цифровыми технологиями комплексная модель. Автоматизация системы оценки учебных достижений обучающихся является важным направлением повышения качества образования, объективной оценки знаний и эффективного управления учебным процессом. Автоматизированные системы оценки позволяют оперативно, точно и открыто определять уровень знаний, умений и навыков обучающихся. В ходе исследования были проанализированы показатели качества оценки учебных достижений, описаны коэффициенты достоверности результатов оценки, показатели дисперсии и погрешности измерения, проанализированы теоретические основы автоматизации систем оценки и предложена модель автоматизации процесса оценки. Кроме того, были описаны алгоритм автоматизированной оценки, методы обработки данных и показатели эффективности. Результаты исследования показали, что автоматизация повышает точность оценки, снижает временные затраты и играет важную роль в обеспечении академической честности.

Ключевые слова: система образования, обучающиеся, учебные достижения, компетентность, алгоритм оценки, автоматизированное оценивание, цифровизация.

Z. K.ABDIKULOVA¹, G.A. SHUKENOVA², G. SH. RYSBEKOVA³

Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

¹E-mail: zagipa.abdikulova@ayu.edu.kz*

²E-mail: galiya.shukenova@ayu.edu.kz

³E-mail: gulaiym.rysbekova@ayu.edu.kz

AUTOMATION OF THE SYSTEM OF ASSESSMENT OF EDUCATIONAL ACHIEVEMENTS OF STUDENTS

Abstract. The article discusses the problems of automating the process of evaluating students' academic achievements in higher education institutions, as well as theoretical, methodological and practical aspects of automation. The assessment system of students' academic achievements is the main component of ensuring the quality of education. At the present stage, the assessment system has theoretical inconsistencies, psychometric weakness and insufficient digital transformation. In the context of a competence-based approach, the main scientific problem is the objectivity and reliability of the assessment. In the context of modern digitalization, the need for an objective, open and prompt assessment of the quality of education is increasing, and a scientifically based, statistically proven and integrated with digital technologies integrated model is needed to improve the assessment system. Automation of the student achievement assessment system is an important area for improving the quality of education, objective assessment of knowledge and effective management of the educational process. Automated assessment systems make it possible to quickly, accurately and openly determine the level of knowledge, skills and abilities of students. In the course of the study, the quality indicators of the assessment of academic achievements were analyzed, the reliability coefficients of the assessment results, the indicators of variance and measurement error were described, the theoretical foundations of the automation of assessment

systems were analyzed, and a model for automating the assessment process was proposed. In addition, the automated evaluation algorithm, data processing methods, and performance indicators were described. The results of the study showed that automation improves the accuracy of assessment, reduces time costs and plays an important role in ensuring academic integrity.

Keywords: education system, students, academic achievements, competencies, assessment algorithm, automated assessment, digitalization.

ҚІРІСПЕ

Жоғары білім беру жүйесінде оқу жетістіктерін бағалау білім сапасын қамтамасыз етудің негізгі құралдарының бірі болып табылады және ақпараттық-коммуникациялық технологиялардың қарқынды енгізілуімен сипатталады (Карпов, 2019).

Бағалау – білім алушының оқу нәтижелерін анықтау, талдау және интерпретациялау процесі.

Бағалаудың негізгі функциялары: диагностикалық, қалыптастырушы, жиынтық, ынталандырушы, болжамдық.

Қазіргі білім беру парадигмасы құзыреттілікке негізделген тәсілге сүйенеді. Сондықтан бағалау жүйесі білім, білік, дағды, аналитикалық қабілеттер, практикалық нәтижелерді қамтуы тиіс.

Дәстүрлі бағалау тәсілдері (жазбаша жұмыстарды қолмен тексеру, қағаз журналдар, жеке есептеулер) уақытты көп қажет етеді және субъективтілік тәуекелін арттырады.

Білім беру үдерісін цифрландыру тек оқыту форматын өзгертіп қана қоймай, білім сапасын бағалау әдістерін жаңғыртуды, автоматтандырылған бағалау технологияларын енгізуді талап етеді. Мұндай жүйелер білім алушылардың оқу жетістіктерін нақты критерийлер негізінде жылдам әрі дәл анықтауға мүмкіндік береді (Король, 2022) (Сердитова, 2020). Сондықтан, оқу жетістіктерін бағалау процесін автоматтандыру – білім сапасын арттырудың, басқарушылық шешімдерді негіздеудің және академиялық адалдықты қамтамасыз етудің маңызды құралы.

Білім алушылардың оқу жетістіктерін бақылау үлкен көлемдегі ақпараттарды өңдеуді талап етеді. Бағалау нәтижелерін қолмен өңдеу уақытты көп қажет етеді және қателіктердің пайда болу ықтималдығын арттырады. Осыған байланысты оқу жетістіктерін автоматтандырылған бағалау жүйесін құру өзекті болып табылады.

Бағалау жүйесін автоматтандырудың негізгі мақсаты білім алушылардың білім беру бағдарламаларын игеру деңгейі туралы сенімді ақпаратты уақтылы алу арқылы білім беру процесінің сапасын арттыру болып табылады.

Автоматтандырудың мақсаттары - бағалаудың объективтілігін арттыру, адам факторының әсерін азайту, білімді бақылау нәтижелерін өңдеуді жеделдету, бағалау жүйесінің ашықтығын қамтамасыз ету, оқу жетістіктерінің бірыңғай дерекқорын құру, білім беру процесін басқарудың тиімділігін арттыру, басқарушылық шешімдер қабылдау үшін талдамалық ақпарат беру болып табылады.

Міндеттері:

- Білімді бағалаудың бірыңғай цифрлық жүйесін құру,
- Ағымдық, аралық және қорытынды бақылауды автоматтандыру,
- Әр білім алушының жеке оқу траекториясын қалыптастыру,
- Статистикалық талдау арқылы үлгерім динамикасын анықтау,
- Оқытушының уақытын үнемдеу және адам факторын азайту.

Бағалау жүйесінің мақсаты – студенттердің үлгерімін автоматты есептеу, сақтау, талдау және болжау.

Жүйенің негізгі міндеттері - студенттердің деректерін сақтау, пәндер бойынша бағаларды енгізу, рейтингтік балдарды есептеу, GPA автоматты анықтау, статистикалық талдау жүргізу, академиялық тәуекелдерді болжау, есептер мен аналитикалық диаграммалар қалыптастыру.

Оқу жетістіктерін бағалау процесін автоматтандыру мәселесі педагогика, ақпараттық технологиялар және білім менеджменті салаларында кеңінен зерттелуде. Оқу жетістіктерін бағалау – білім алушының білім, білік, дағды және құзыреттер деңгейін анықтауға бағытталған жүйелі процесс (Чернышенко, 2015). Педагогикалық өлшеу теориясында білім деңгейін анықтау үшін тестілеу, рейтингтік бағалау, критериалды бағалау және модульдік бақылау жүйелері қолданылады.

Ақпараттық технологияларды енгізу арқылы бағалау үдерісі алгоритмдендіріліп, объективтілік деңгейі артады (Хуторской, 2021).

ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ/ЗЕРТТЕУ ӘДІСТЕРІ МЕН МАТЕРИАЛДАР

Қазіргі таңда оқу үдерісін басқаруда кеңінен қолданылатын платформалардың бірі – Moodle. Бұл жүйе тестілеуді автоматты тексеруге, нәтижелерді жинақтауға және статистикалық талдау жүргізуге мүмкіндік береді. Сонымен қатар, Platonus платформасы да білім алушылардың оқу белсенділігін бақылауға жағдай жасайды.

Moodle (Modular Object-Oriented Dynamic Learning Environment) – білім беру ұйымдарында электрондық оқытуды ұйымдастыруға арналған ашық кодты басқару жүйесі. Жүйенің негізгі мақсаты – оқыту процесін цифрлық ортада тиімді ұйымдастыру, оқытушылар мен білім алушылар арасындағы өзара әрекеттестікті жеңілдету және білім сапасын арттыру болып табылады. Moodle платформасының басты артықшылықтарының бірі – оның ашық бағдарламалық кодқа негізделуі. Бұл ерекшелік білім беру ұйымдарына жүйені өз қажеттіліктеріне сәйкес бейімдеуге және қосымша модульдерді енгізуге мүмкіндік береді.

Платформаның маңызды функционалдық мүмкіндіктерінің бірі – білімді бақылау және бағалау жүйесі. Moodle құрамында тестілеу, сауалнама жүргізу, тапсырмаларды қабылдау, автоматты бағалау және статистикалық талдау құралдары қарастырылған. Оқытушы әртүрлі типтегі сұрақтардан тұратын тесттер құра алады, олардың ішінде бір дұрыс жауапты таңдау, бірнеше дұрыс жауапты белгілеу, сәйкестендіру, қысқа жауап беру және эссе түріндегі тапсырмалар бар. Автоматты бағалау механизмі оқытушының уақытын үнемдеп, бағалаудың объективтілігін қамтамасыз етеді. Сонымен қатар, Moodle платформасы білім алушылардың оқу белсенділігін бақылауға мүмкіндік береді. Жүйе әрбір пайдаланушының оқу материалдарын қарау жиілігін, тапсырмаларды орындау уақытын, тест нәтижелерін және курстағы жалпы белсенділігін тіркеп отырады. Бұл мәліметтер оқытушыларға білім алушылардың үлгерімін талдауға, қиындықтарды ерте анықтауға және қажетті педагогикалық шараларды қабылдауға мүмкіндік береді.

Бағалау жүйесі «енгізу – өңдеу – шығару» қағидасы бойынша жұмыс істейді (Баранов, 2018):

- енгізу – білім алушының жауаптары,
- өңдеу – алгоритмдік тексеру,
- шығару – балл және аналитикалық қорытынды.

Зерттеу барысында келесі әдістер қолданылды (Зыкова, 2024):

- Теориялық талдау – бағалау жүйелерін автоматтандыру бойынша ғылыми әдебиеттерді зерттеу.
- Жүйелік талдау – бағалау процесінің құрылымдық моделін құру.
- Алгоритмдеу – автоматты бағалау алгоритмін әзірлеу.
- Салыстырмалы талдау – дәстүрлі және автоматтандырылған жүйелердің тиімділігін салыстыру.

Автоматтандырылған жүйе бірнеше функционалдық модульден тұрады:

- Деректерді жинау модулі – тест нәтижелерін қабылдау,
- Өңдеу модулі – жауаптарды тексеру алгоритмі,
- Сақтау модулі – деректер базасында сақтау,
- Аналитикалық модуль – статистикалық талдау жүргізу,
- Кері байланыс модулі – білім алушыға ұсыныстар беру.

Білім беру саласында автоматтандыру: электрондық тестілеу, онлайн бағалау, деректерді жинау және талдау, академиялық үлгерімді мониторингтеу.

НӘТИЖЕЛЕР МЕН ТАЛҚЫЛАУ

Автоматтандырылған бағалау жүйесінің құрылымы

Автоматтандырылған бағалау жүйесі (АБЖ) келесі компоненттерден тұрады:

1. Ақпараттық модуль: Білім алушылар деректер базасы, Пәндер мен оқу бағдарламалары, Бағалау критерийлері.

2. Тестілеу және тапсырмалар модулі: Онлайн тесттер, Автоматты тексерілетін тапсырмалар, Практикалық жұмыстарды жүктеу.

3. Бағалау алгоритмі: Балл есептеу формуласы, GPA автоматты есептеу, Рейтинг құрастыру.

Жалпы балды есептеу формуласы:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^n B_i \cdot w_i}{\sum_{i=1}^n w_i} \quad (1)$$

мұндағы: B_i – i -бақылау жұмысының балы, w_i – салмақ коэффициенті, i – жауаптың дұрыстығы (0 немесе 1), n – тапсырмалар саны.

Қорытынды баға GPA шкаласына автоматты түрде ауыстырылады.

4. Аналитикалық модуль: Үлгерім динамикасын талдау, Академиялық тәуекел топтарын анықтау, Статистикалық есеп беру.

Білім алушының қорытынды бағасын есептеу формуласы:

$$Q = 0,3T + 0,3A + 0,4E \quad (2)$$

мұндағы: Q – қорытынды баға, T – тест нәтижесі, A – ағымдық тапсырмалар нәтижесі, E – емтихан нәтижесі

Мысалы: тест – 85 балл, тапсырмалар – 90 балл, емтихан – 80 балл.

Онда:

$$Q = 0,3 \times 85 + 0,3 \times 90 + 0,4 \times 80 = 84,5 \text{ балл}$$

Нәтиже автоматты түрде есептеліп, электрондық журналға енгізіледі.

Енгізу кезеңдері:

1. Қажеттілікті талдау;
2. Техникалық талаптарды анықтау;
3. Бағдарламалық платформаны таңдау (LMS, ERP);
4. Деректер базасын құру;
5. Пилоттық апробация;
6. Толық масштабта енгізу.

Қауіпсіздік және академиялық адалдық:

1. Плагиатты анықтау жүйесі;
2. Прокторинг технологиясы;
3. Деректерді шифрлау;
4. Қол жеткізуді басқару.

Бағалау процесін автоматтандырудың моделі

Автоматтандырылған бағалау жүйесі келесі негізгі модульдерден тұрады (Смирнова, 2020):

1. Пайдаланушы интерфейсі модулі:

- білім алушы кабинеті;

- оқытушы кабинеті;
- әкімшілік басқару панелі.

2. Бағалау алгоритмдері модулі:

- тесттік тапсырмаларды автоматты тексеру;
- көпнұсқалы сұрақтарды бағалау;
- сәйкестендіру және қысқа жауаптарды тексеру.

3. Деректер базасы модулі:

- студенттердің жеке деректері;
- пәндер мен сессиялар;
- бағалау критерийлері;
- нәтижелер архиві.

4. Аналитикалық модуль:

- үлгерім динамикасын талдау;
- рейтингтік есептер;
- білім сапасының көрсеткіштері.

Бағалау алгоритмінің сипаттамасы

Автоматтандырылған тесттік бағалау алгоритмі келесі кезеңдерден тұрады (Mikhaylova, 2024):

1. Студенттің жауаптарын қабылдау;
2. Дұрыс жауаптар базасымен салыстыру;
3. Әр сұрақ бойынша балл есептеу;
4. Жалпы балды анықтау.
5. Қорытынды бағаны шкала бойынша түрлендіру

Білім алушылардың жеке құзыреттілік деңгейін анықтау мәселесі – әр білім алушының қабілетінің әртүрлі екенін ескеру - білім сапасын арттырудың негізгі шарты. Оқытушының міндеті - білім алушыларды бір-бірімен салыстыру емес, әр білім алушының жеке мүмкіндігін ашу және дамыту. Егерде білім алушылардың құзыреттілік деңгейін K_i әріпімен белгілеп анықтап алсақ, бұл жерде i - білімгердің аты-жөнін білдіреді. C_j арқылы оның сенімділік деңгейін белгілейміз, j -сенімділіктің қай бағытта екендігін білдіреді. Осы мәселенің қисынды негізін талдап шықсақ, ол кезде білім алушылардың құзыреттілік деңгейі мына эвристикалық формуламен анықталады:

$$K_i = \beta \sum_{j=1}^n C_j^i \quad (3)$$

Мұндағы: β -сәйкестік коэффициенті білім алушылардың мінезіне байланысты сандар, $[0-1]$ арасында жатады. j - сенімділіктің бағытын білдіреді.

Ал, K_i -ші сан түрінде бейнелейміз. Ол үшін біз өтіліп жатқан тақырыпты бірнеше бөліктерге бөліп алып, оларды төмендегідей 1-кестеге түсіреміз.

Кесте 1. Тақырыптардың бөлінуі

№	α_1	α_2	α_3	...	α_n
S_1	φ_{11}	$\varphi_{1.2}$	$\varphi_{1.3}$	...	φ_n
S_2	$\varphi_{2.1}$	$\varphi_{2.2}$	$\varphi_{2.3}$	...	φ_n
...	...	...	...	...	...
S_n	φ_m	φ_{m1}	φ_{m2}	...	φ_{mn}

мұндағы: $\varphi_{11}, \varphi_{1.2}, \dots, \varphi_{1n}$ -жалпы тақырыптың бөлшектері;

S- негізгі тақырып.

Бұл құрылған кесте білім алушылардың құзыреттілік деңгейін анықтаушы білімдер базасы болып табылады.

1-кесте бойынша білім алушылардың құзыреттілік деңгейін қалай анықтаймыз. Ол үшін біз жоғарыда айтылғандай өтіліп жатырған тақырыптарға тест сұрақтарын құрамыз. Егерде бұл сұрақтардың көлемі қаншалық көп болса ол жағдайда нәтиже соншалықты жақсы болады. Сонымен білім алушыларды тесттен өткіземіз, әрбір жауапты тексеруден өткіземіз. Осы тестілеуді өткізіп алғанымыздан соң, білім алушылардың сенімділік және құзыреттілік деңгейін алгоритмдік тұрғыда анықтаймыз. Бұл алгоритмнің жазылуы төмендегі этаптар арқылы бейнеленеді:

1. А білім алушыға тест сұрақтар беріледі;

2. Білім алушының тест сұрақтарға жауаптары салыстырылады;

3. Егерде А білім алушыға берілген сұрақтар $\varphi_{11}^*, \varphi_{1.2}^*, \varphi_{1.3}^*, \dots, \varphi_{1n}^*$ көрінісінде болса бағалау процедурасы төмендегідей көріністе болады:

$$\varphi_{11} - \varphi_{11}^* = \alpha_{11}, \quad \varphi_{12} - \varphi_{12}^* = \alpha_{12}, \quad \dots, \quad \varphi_{1n} - \varphi_{1n}^* = \alpha_{1n}$$

Бұл жерде

$$\alpha_{ij} = \begin{cases} 1. \text{ Егер жауап дурыс болса} \\ 0. \text{ Егер жауап дурыс болмаса} \end{cases},$$

4. Нәтиже қатар бойынша есептеледі

$$C_i = \sum_{j=1}^n \alpha_{ij} \quad (4)$$

Бұл жиын сенімділік деңгейін көрсетеді.

5. Нәтижеде бізде $C = \{c_1, c_2, \dots, c_n\}$ топ туындайды. Бұл топтан біз максимал мәнді табамыз, яғни $\max\{c_1, c_2, \dots, c_n\}$. Осы мәнге сәйкес келген білімгердің сенімділік деңгейі жоғары болады.

6. Төмендегі формула білімгердің құзыреттілік деңгейін көрсетеді:

$$K_j = \sum_{i=1}^n C_i \quad (5)$$

7. Нәтижесінде $K = \{K_1, K_2, \dots, K_n\}$ топ туындайды. Осы топтың элементтерінің ішінен максимал мәнді табайық, яғни $\max\{K_1, K_2, \dots, K_n\}$. Осы мәнге сәйкес келген білімгердің құзыреттілік деңгейі жоғары болады.

Білім алушының оқу жетістігін бағалаудың теоретикалық негізін айтып өтсек, оқу жетістігі - білім алушылардың оқу материалдарын игеру дәрежесін сипаттайтын көрсеткіш. Білім беру статистикасында оқу жетістігі көбінесе дұрыс жауаптардың пайызы, орташа балл және құзыреттілікке жету деңгейі ретінде бағаланады.

Оқу жетістігі қандай шамалармен сипатталады?

- Негізгі параметрлері (Sarathchandra, 2023):

- Орташа балл (X): білім алушының бағаларының орташа мәнін көрсетеді

$$X_{opt} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} \quad (6)$$

мұндағы:

x_i - i білім алушының бағасы,

n – білім алушылардың жалпы саны.

Оқу материалын игеру коэффициенті (K): оқу материалын сәтті игерген білім алушылардың санының жалпы оқушылар санына қатынасын білдіреді.

$$k = \frac{N_{\text{толық игерген білім алушы саны}}}{N_{\text{жалпы білім алушы саны}}} \quad (7)$$

мұндағы:

$N_{\text{игеру}}$ – оқу материалын толық игерген ("қанағаттанарлық" немесе одан жоғары баға алған) білім алушылардың саны

$N_{\text{жалпы}}$ – білім алушылардың жалпы саны.

Дұрыс жауаптар пайызы ($P\%$): дұрыс жауаптар санының сұрақтардың жалпы санына қатынасына тең шама.

$$P\% = \frac{N_{\text{дұрыс жауаптар саны}}}{N_{\text{жалпы сұрақ саны}}} \quad (8)$$

мұндағы:

$N_{\text{дұрыс жауап}}$ – дұрыс жауаптар саны,

$N_{\text{барлық сұрақтар саны}}$ – барлық сұрақтардың жалпы саны.

Практикалық талдау және есептеулер

Компьютерлік тестілеу жүйелері білім алушылардың білімін жедел бағалауға мүмкіндік береді. Бұл әдісте тест тапсырмалары арнайы деректер қорында сақталып, жүйе жауаптарды автоматты түрде тексереді.

Негізгі кезеңдері: тест тапсырмаларын құру, тестілеуді өткізу, нәтижелерді автоматты өңдеу, қорытынды балдарды есептеу, статистикалық талдау жүргізу.

Тестілеуді автоматтандыру объективті бағалауды қамтамасыз етеді және бағалау уақытын айтарлықтай қысқартады.

Пән бойынша 20 білім алушыдан тұратын топ қорытынды бағаларын талдау үшін Excel электрондық кестесін қолданайық. Excel электрондық кестесін қолданудың тағы бір ерекше мүмкіндігі - білім алушылардың оқу материалын бағалауда пайдалану. Білім алушылардың жетістіктерін бағалауда салыстыру қажет болған жерде рейтинг жасау маңызды. Рейтинг әрқашан да бәсекелестікті білдіреді. Қазіргі уақытта рейтингтер педагогикада және оқу процесінде де көбірек қолданылады. Рейтингік жүйе оқу процесін ұйымдастыру әдістеріне де байланысты (Abdrasilov, 2025). Білімгерлердің оқу материалын меңгеру барысын бағалау кестесін құрайық. Бұл кестеде білімгерлердің тест нәтижелері ескерілген. Әрбір білім алушының тест бойынша жинаған жалпы ұпайлары осы жиынның максималды мүмкін ұпайға қатысты пайызымен есептеуге және әр білім алушының дәрежесін де анықтауға болады. Осындай тақта жасау үшін келесі Excel құралдарын пайдалануға болады.

Есептеулер жүргізу үшін бағалардың таралу кестесін жасаймыз (Кесте 2):

1.Орта мән шамасын есептеу үшін қосынды функциясын пайдаланамыз:

Орта мән (B1:B20). Бұл функцияны жүзеге асыру үшін стандартты құралдар тақтасындағы орта мән құралын пайдаланамыз. Орта мән B21 ұяшыққа түседі.

Кесте 2. Бағалардың таралуы

	A	B	C	D	E	F	G	H
1		70	-1,3	1,69		70	70	
2		72	-3,3	10,89		72	72	
3		75	-6,3	39,69		75	75	
4		78	-9,3	86,49		78	78	
5		80	-11,3	127,69		80	80	
6		70	-1,3	1,69		70	70	
7		70	-1,3	1,69		70	70	
8		72	-3,3	10,89		72	72	
9		82	-13,3	176,89		82	82	
10		84	-15,3	234,09		84	84	
11		60	8,7	75,69		60	60	
12		65	3,7	13,69		65	65	
13		68	0,7	0,49		68	68	
14		50	18,7	349,69		50	50	
15		55	13,7	187,69		55	55	
16		58	10,7	114,49		58	58	
17		40	28,7	823,69		40	40	
18		45	23,7	561,69		45	45	
19		90	-21,3	453,69		90	90	
20		90	-21,3	453,69		90	90	
21		68,7		3726,2	0,93	40	90	
22	орт.мән	БАЛЛ	($x_i - \bar{x}$)	($x_i - \bar{x}$)*2	Стандарт ты ауытқу	min	max	

2. Білімгерлердің оқу материалын табысты игеру коэффициентін есептеу:

$$[N_{\text{игеру коэф}} = 2 + 10 + 6 = 18]$$

Жалпы саны:

$$[N_{\text{білімгерлердің жалпы саны}} = 20]$$

Сонда:

$$[K = 18/20 \cdot 100\% = 90,0\%]$$

Оқу материалын табысты игеру коэффициенті - 90,0%.

Тест бойынша дұрыс жауаптар пайызы

Қорытынды тест 50 сұрақтан тұрды. Топ бойынша дұрыс жауаптардың жалпы саны - 840.

$$[\%П = 840/1000 \cdot 100\% = 84\%]$$

Тест бойынша дұрыс жауаптардың орташа пайызы - 84%.

Қосымша көрсеткіштер

Дисперсия және стандартты ауытқу шамаларын анықтайық.

Үлгерімнің таралу барысын бағалау үшін дисперсияны анықтайық (Black, 2009), (Shute, 2008):

$$D(X) = \frac{\sum (x_i - \bar{x})^2}{n} \quad (9)$$

X_i - жалпы баға

Хорт - орта шама**n-білімгерлердің жалпы саны**

Дисперсия оқу материалын игеру нәтижелерінің орташа мәнге қатысты таралу (вариация) дәрежесін көрсететін статистикалық көрсеткіш (Сидоров, 2021). Ол жеке ұпайлардың орташа арифметикалық мәннен орташа квадраттық ауытқуы ретінде есептеледі: дисперсия неғұрлым жоғары болса, нәтижелер соғұрлым алшақ болады (біртексіз топ), ал дисперсия неғұрлым төмен болса, ұпайлар орташа мәнге жақындайды (Gikandi, 2011).

Стандартты ауытқу шамасын анықтайық:

$$S = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (x_i - x_{opt})^2}{n-1}} \quad (10)$$

Стандартты ауытқу $\approx 0,93$ - бағалардың бірқалыпты таралуын көрсетеді.

Көрсеткіштер барысы /интерпретациясы/: 90% -оқу материалын табысты игеру коэффициенті білім алушылардың басым бөлігінің бұл оқу материалын табысты игергенін көрсетеді. Тест бойынша дұрыс жауаптардың 84% білім сапасының орта деңгейден жоғары деңгейде екендігін растайды. Стандартты ауытқуы $\approx 0,93$ -топтағы білім алушылардың бағаларының салыстырмалы түрде біркелкі бөлінгенін көрсетеді.

Білім алушылардың оқу материалын игеру мәселелері және оларды шешу жолдарын атап өтсек, білім алушы көбінесе оқу нәтижелеріне және оқу материалын қабылдауға теріс әсер етуі мүмкін бірқатар мәселелерге тап болады. Бұл мәселелерді тиімді шешу және білім сапасын жақсарту үшін түсіну маңызды.

Практикалық мысал

Мысалы, 100 студенті бар факультетте автоматтандырылған бағалау жүйесін енгізу (Сурет 1):

5. Бағалау уақыты 40% қысқарады (Сурет 2)
6. Қателік ықтималдығы 60% төмендейді
7. Есеп беру дайындау уақыты 3 есе азаяды
8. Нәтижелерді талдау сапасының артуы;
9. Білімгерлердің оқу мотивациясының жоғарылауы.

Статистикалық деректер автоматтандырылған бағалаудың дәстүрлі әдістерге қарағанда тиімді екенін көрсетеді (кесте 3).

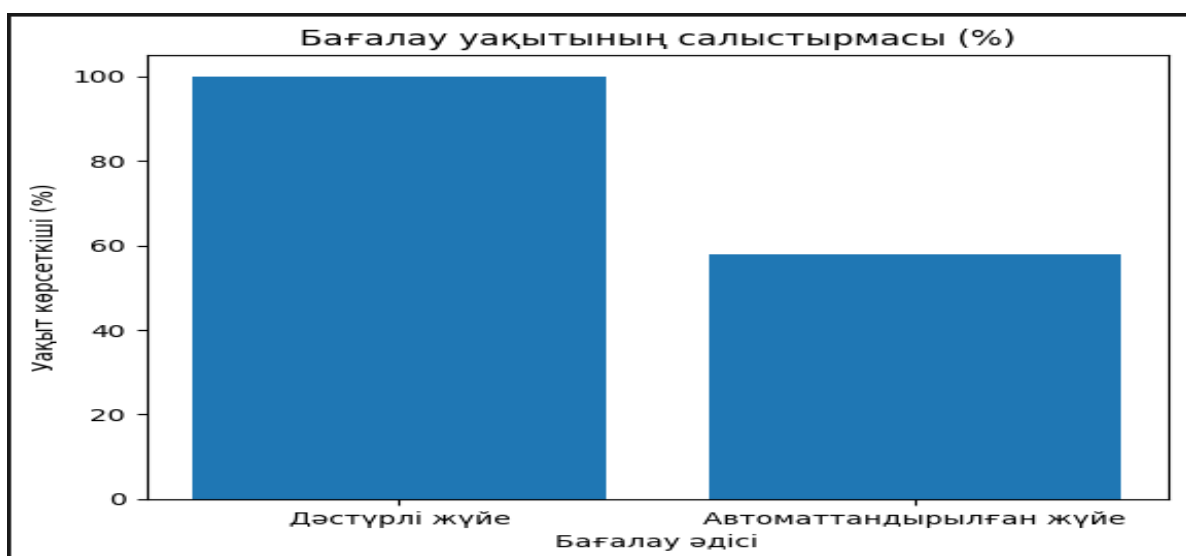
Кесте 3. Автоматтандырылған жүйенің тиімділігі

Көрсеткіш	Дәстүрлі әдіс	Moodle арқылы
Бағалау уақыты	10–15 мин	1–2 мин
Қателік ықтималдығы	жоғары	төмен
Нәтижелердің қолжетімділігі	шектеулі	онлайн
Есеп беру	қолмен	автоматты
Мониторинг	күрделі	жедел

Автоматтандырылған бағалау жүйелерінің артықшылықтары: объективтілік, деректердің жедел өңделуі, адами фактордың азаюы, академиялық адалдықты бақылау, білім сапасын талдау.



Сурет 1. Бағалау жүйелерінің салыстырмасы



Сурет 2. Бағалау уақытының салыстырмасы

ҚОРЫТЫНДЫ

ЖОО білім алушыларының оқу нәтижелерін бағалау процесін автоматтандыру білім беру сапасын арттыруға, бағалау объективтілігін қамтамасыз етуге және уақыт ресурстарын үнемдеуге мүмкіндік береді.

Білім алушылардың оқу жетістіктерін автоматтандыру әдістері білім беру жүйесінің тиімділігін арттыруда маңызды рөл атқарады. Электрондық журналдар, тестілеу жүйелері, LMS платформалары, GPA есептеу механизмдері, аналитикалық мониторинг және жасанды интеллект технологиялары білім алушылардың оқу нәтижелерін сапалы бағалауға мүмкіндік береді. Бұл әдістер оқу процесінің ашықтығын қамтамасыз етіп қана қоймай, білім сапасын арттыруға және білім беру ұйымдарының цифрлық трансформациясын жүзеге асыруға ықпал етеді.

Ұсынылған модель бағалау процесін кешенді түрде ұйымдастыруға бағытталған және білім беру ұйымдарының цифрлық трансформациясына сәйкес келеді.

Автоматтандыру – жоғары білім беру жүйесін дамытудың стратегиялық бағыты болып табылады. Автоматтандырылған жүйелер басқаруды оңтайландырады, білім алушының үлгерімін нақты көрсетеді, оқыту нәтижелерін талдауға мүмкіндік береді, цифрлық білім беру ортасын қалыптастырады.

Болашақта жасанды интеллект негізінде бейімделетін бағалау жүйелері кеңінен қолданыс табады. Мысалы: білім деңгейін болжау алгоритмдері, адаптивті тестілеу жүйелері, қателерді талдау арқылы жеке ұсыныстар беру.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Abdrasilov, B., Altybayeva, Sh., Yersultanova, G., Zhumatova, I., & Turalbayeva, K. (2025). Integration of digital platforms into the development of tests for national exams: Identifying trends and recommendations. *Journal of Educational Sciences*, 85(4), 104–116. <https://doi.org/10.26577/JES2025858>

Baranov, P. A., & Nazarova, N. V. (2018). *Avtomatizirovannye sistemy otsenki znaniy studentov* [Automated systems for assessing student knowledge]: Monografiya. Akademiya. 256 s.

Black, P., & Wiliam, D. (2009). Developing the theory of formative assessment. *Educational Assessment, Evaluation and Accountability*, 21(1), 5–31. <https://doi.org/10.1007/s11092-008-9068-5>

Chernyshenko, S. V., Vorotnitsky, Yu. I., Lyubchak, V. A., et al. (2015). *Metodologicheskie osnovy sozdaniya, vnedreniya i razvitiya integrirovannoy informatsionnoy sistemy upravleniya universitetom* [Methodological foundations for the creation, implementation and development of an integrated information system for university management]. Niktagrafiks Plyus. 343 p. ISBN 978-966-657-566-4.

Gikandi, J. W., Morrow, D., & Davis, N. E. (2011). Online formative assessment in higher education: A review of the literature. *Computers & Education*, 57(4), 2333–2351. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.06.004>

Karpov, V. N. (2019). *Informatsionnye sistemy v obrazovanii: teoriya i praktika* [Information systems in education: Theory and practice]: Uchebnoe posobie. Piter. 312 s.

Khutorskoi, A. V. (2021). *Sovremennaya didaktika* [Modern didactics]: Uchebnik dlya vuzov. Yurait. 406 s. ISBN 978-5-534-14199-3.

Korol', A. D., & Vorotnitskiy, Yu. I. (2022). *Tsifrovaya transformatsiya obrazovaniya i vyzovy XXI veka* [Digital transformation of education and the challenges of the 21st century]. *Vysshee obrazovanie v Rossii* [Higher Education in Russia], 31(6), 48–61. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2022-31-6-48-61>

Mikhaylova, S. S. (2024). Development of an intelligent system for analyzing the achievements of a university student. *Economic Problems and Legal Practice*, 20(2), 185–192. <https://doi.org/10.33693/2541-8025-2024-20-2-185-192>

Sarathchandra, M. M. D., & Jinasena, T. M. K. K. (2023). A web-based automated code assessment and testing system for ICT teachers. *European Modern Studies Journal*, 7(4). [https://doi.org/10.59573/emsj.7\(4\).2023.39](https://doi.org/10.59573/emsj.7(4).2023.39)

Sereditova, N. E., & Belotserkovsky, A. V. (2020). Education, quality and the digital transformation. *Vysshee obrazovanie v Rossii* [Higher Education in Russia], 29(4), 9–15. <https://doi.org/10.31992/0869-3617-2020-29-4-9-15>

Shute, V. J. (2008). Focus on formative feedback. *Review of Educational Research*, 78(1), 153–189. <https://doi.org/10.3102/0034654307313795>

Sidorov, I. I., & Pavlova, T. V. (2021). *Avtomatizatsiya upravleniya kachestvom obrazovaniya* [Automation of education quality management]: Monografiya. UrFU. 298 s.

Smirnova, E. A. (2020). *Elektronnoe obuchenie i avtomatizatsiya otsenki* [E-learning and assessment automation]: Uchebnoe posobie. Yurait. 224 s.

Zykova, T. V., Kytmanov, A. A., Khalturin, E. A., Vainshtein, Yu. V., & Noskov, M. V. (2024). *Algoritm analiza i otsenki uchebnykh planov obrazovatel'nykh programm* [Algorithm for the analysis and evaluation of curricula of educational programs]. *Informatika i obrazovanie* [Informatics and Education], 39(1), 52–64. <https://doi.org/10.32517/0234-0453-2024-39-1-52-64>

Информация об авторах
Information about authors

№	Информация об авторах (Ф.И.О. полностью, ученая степень, место работы или учебы, город, страна, E-mail, сотовый номер автора корреспондента:) на казахском, русском, английском языках
1	Абдикулова Загипа – техника ғылымдарының кандидаты, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Абдикулова Загипа – кандидат технических наук, Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Abdikulova Zagipa – Candidate of Technical Sciences, Khoja Ahmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan city, Kazakhstan E-mail: zagipa.abdikulova@ayu.edu.kz ORCID: 0009-0003-5106-0687
2	Шукенова Галия – аға оқытушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Шукенова Галия – старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Shukenova Galya - senior lecturer, Khoja Ahmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan city, Kazakhstan E-mail: galiya.shukenova@ayu.edu.kz ORCID: 0009-0004-0327-6755
3	Рысбекова Гулайым - аға оқытушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Рысбекова Гулайым – старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет им. Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Rysbekova Gylaiim - senior lecturer, Khoja Ahmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkistan city, Kazakhstan E-mail: gulaiym.rysbekova@ayu.edu.kz ORCID: 0009-0005-9130-1179

РУСТАМОВ Е.Н.¹, АМИРТАЕВ К.Б.²

¹Ташкентский государственный университет транспорта, г.Ташкент, Узбекистан

E-mail: rustamoverbol24@gmail.com

²М Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан

E-mail: kanat.amirtayayev@ayu.edu.kz*

ФРАКТАЛЬНО КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗНАНИЙ

Аннотация. В работе предлагается новая архитектура фрактально-кибернетической модели знаний (ФКМЗ), предназначенная для формализации процессов преобразования сведений в данные, информацию и знания в интеллектуальных системах. Актуальность исследования обусловлена необходимостью разработки новых подходов к организации искусственного интеллекта, способных эффективно функционировать в условиях постоянного роста объемов разнородных данных и информационной неопределенности. В отличие от современных нейросетевых технологий, ориентированных преимущественно на увеличение вычислительных ресурсов и обработку больших массивов неструктурированной информации, предложенный подход основан на семантическом представлении знаний и механизмах интеллектуального управления информационными потоками.

В статье рассмотрена семантическая взаимосвязь понятий «сведения», «данные», «информация» и «знание», а также предложена формальная схема их преобразования в рамках единой фрактальной структуры. Разработанная модель включает механизмы обратной связи, обеспечивающие самоорганизацию, адаптацию и интеллектуальную фильтрацию поступающих сведений. Особое внимание уделено роли ассоциативных сущностей, выполняющих функции контекстной обработки и отбора релевантной информации. Представлено математическое описание функционирования модели и рассмотрен пример ее практического применения.

Научная новизна работы заключается в разработке фрактального принципа организации знаний, обеспечивающего рекурсивное управление процессами формирования и интерпретации информации. Практическая значимость исследования состоит в возможности использования предложенной модели при создании интеллектуальных систем, экспертных комплексов, систем поддержки принятия решений, робототехнических платформ и перспективных архитектур искусственного интеллекта.

Ключевые слова: фрактал знаний, база знаний, сведения, данные, информация, знание, кибернетическая модель.

РУСТАМОВ Е.Н.¹, АМИРТАЕВ К.Б.²

¹Ташкент мемлекеттік көлік университети, Ташкент қ., Өзбекстан

E-mail: rustamoverbol24@gmail.com

²Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университети, Түркістан қ., Қазақстан

E-mail: kanat.amirtayayev@ayu.edu.kz*

БІЛІМНІҢ ФРАКТАЛДЫҚ КИБЕРНЕТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ

Аңдатпа. Жұмыста интеллектуалды жүйелердегі мәліметтерді деректерге, ақпаратқа және білімге түрлендіру процесстерін ресімдеуге арналған білімнің фракталдық-кибернетикалық моделінің (БФКМ) жаңа архитектурасы ұсынылады. Зерттеудің өзектілігі гетерогенді деректер мен ақпараттық белгісіздік көлемінің үнемі өсуі жағдайында тиімді жұмыс істей алатын жасанды интеллектті ұйымдастырудың жаңа тәсілдерін әзірлеу қажеттілігімен байланысты. Негізінен есептеу ресурстарын ұлғайтуға және құрылымдалмаған ақпараттың үлкен массивтерін өңдеуге бағытталған заманауи нейрондық желілік технологиялардан айырмашылығы, ұсынылған тәсіл білімді семантикалық ұсынуға және ақпараттық ағындарды интеллектуалды басқару механизмдеріне негізделген.

Мақалада "мәліметтер", "деректер", "ақпарат" және "білім" ұғымдарының семантикалық байланысы қарастырылады, сондай-ақ оларды бірыңғай фракталдық құрылым шеңберінде түрлендірудің формальды схемасы ұсынылады. Әзірленген модель өзін-өзі ұйымдастыруды, бейімделуді және келіп түскен ақпаратты интеллектуалды сүзуді қамтамасыз ететін кері байланыс механизмдерін қамтиды. Контекстік өңдеу және тиісті ақпаратты таңдау функцияларын орындайтын ассоциативті субъектілердің рөліне ерекше назар аударылады. Модельдің жұмысының математикалық сипаттамасы ұсынылған және оның практикалық қолданылуының мысалы қарастырылған.

Жұмыстың ғылыми жаңалығы ақпаратты қалыптастыру және түсіндіру процесстерін рекурсивті басқаруды қамтамасыз ететін білімді ұйымдастырудың фракталдық принципін әзірлеу болып табылады. Зерттеудің практикалық маңыздылығы интеллектуалды жүйелерді, сараптамалық кешендерді, шешімдерді қолдау жүйелерін, робототехникалық платформаларды және жасанды интеллекттің перспективалық архитектураларын құруда ұсынылған модельді пайдалану мүмкіндігінен тұрады.

Түйін сөздер: білім фракталы, білім базасы, ақпарат, деректер, ақпарат, білім, кибернетикалық модель.

RUSTAMOV E.N.¹, AMIRTAYEV K.B.²

¹Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan

E-mail: rustamoverbol24@gmail.com

²Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan

E-mail: kanat.amirtayev@ayu.edu.kz*

FRACTAL CYBERNETIC KNOWLEDGE MODEL

Abstract. The paper proposes a new architecture of the fractal cybernetic knowledge model (FCKM), designed to formalize the processes of converting information into data, information and knowledge in intelligent systems. The relevance of the research is due to the need to develop new approaches to the organization of artificial intelligence that can function effectively in conditions of constant growth in the volume of heterogeneous data and information uncertainty. Unlike modern neural network technologies, which are mainly focused on increasing computing resources and processing large amounts of unstructured information, the proposed approach is based on the semantic representation of knowledge and mechanisms for intelligent management of information flows.

The article examines the semantic relationship between the concepts of "information", "data", "information" and "knowledge", and also suggests a formal scheme for their transformation within a single fractal structure. The developed model includes feedback mechanisms that ensure self-organization, adaptation, and intelligent filtering of incoming information. Special attention is paid to the role of associative entities that perform the functions of contextual processing and selection of relevant information. A mathematical description of the model's functioning is presented and an example of its practical application is considered.

The scientific novelty of the work lies in the development of a fractal principle of knowledge organization that provides recursive management of the processes of information formation and interpretation. The practical significance of the research lies in the possibility of using the proposed model in the creation of intelligent systems, expert complexes, decision support systems, robotic platforms and promising artificial intelligence architectures.

Keywords: *fractal knowledge, knowledge base, data points, data, information, knowledge, cybernetic model.*

ВВЕДЕНИЕ

В эпоху избыточности информационных потоков ключевым вопросом становится не доступ к ресурсам, а архитектура их преобразования. Традиционные модели (сведения – данные – информация – знание) часто описывают процесс накопления, но упускают из виду динамическую природу истинного понимания.

В современном информационном пространстве вопрос «как превратить хаотичный поток данных в эффективное знание?» становится ключевым для развития когнитивных технологий и систем управления информацией. Классические подходы, восходящие к иерархии DIKW (Data, Information, Knowledge, Wisdom), предложенной Р.Акоффом (1989), часто рассматривают этот процесс как линейную последовательность (Ackoff, 1989). Однако стремительный рост объемов данных требует перехода к более глубокому пониманию информационной сущности трансформации – процесса, который мы определяем как интеллектуализацию.

В работе, опубликованной в 1974 году (Zhuravlev et al., 1974), впервые было введено понятие «допустимая таблица Tmp», где по строкам располагаются объекты s_j , а по столбцам – признаки, характеризующие их свойства. На пересечении фиксируются значения признаков. Строки при этом разбиваются на классы K_i . По сути, данная таблица является эвристической моделью предметной области и в современной терминологии соответствует обучающей выборке интеллектуальной системы.

Если в ячейки таблицы поместить знания, то такая структура может стать основой искусственного интеллекта. Для этого необходимо алгоритмически описать процесс порождения знаний.

ЦЕЛЬ РАБОТЫ

Разработать интеллектуальную фрактально-кибернетическую модель знаний на основе семантического представления процесса порождения фрактала знаний.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Эффективность интеллектуальных технологий определяется степенью соответствия базы знаний предметной области и корректностью обработки знаний. Оперативность и обоснованность решений зависят от организации процессов интерпретации, структурирования и преобразования знаний. В этих условиях ключевую роль играют алгоритмы порождения фрактала знаний, обеспечивающие формирование семантических связей, оценку значимости признаков и выделение релевантной информации в заданном контексте.

В работе предлагается семантическое представление фрактала знаний. Знание формируется по цепочке: сведения → данные → информация → фрактал знаний. Формализация данной цепочки приведена в работах (Rustamov, 1999; Mukhamedieva et al., 2025; Chichkin, 1990; Rustamov et al., 2024). Практическая реализация семантического представления знаний рассмотрена в (Muhamediyeva & Rustamov, 2022; Rustamov & Rustamov, 2022).

Стержневая сущность	-		C_1
Характеризующая сущность	-		C_2
Обозначающая сущность	-		C_3
Ассоциативная сущность	-		A_1
Атрибуты	-		a_i

Рисунок 1. Алфавит для семантического представления фрактала знаний.

На основе этой семантики (Рисунок 1) будем представлять семантику фрактала знаний следующим образом.

Фрактал знания представляет собой структуру, в которой информация и знания организованы иерархически, причем каждый уровень повторяет общие свойства целого, обеспечивая масштабируемость и гибкость системы. Это позволяет системе адаптироваться к изменяющимся условиям и эффективно управлять сложной информацией.

Семантический все это выглядеть как (Рисунок 2):

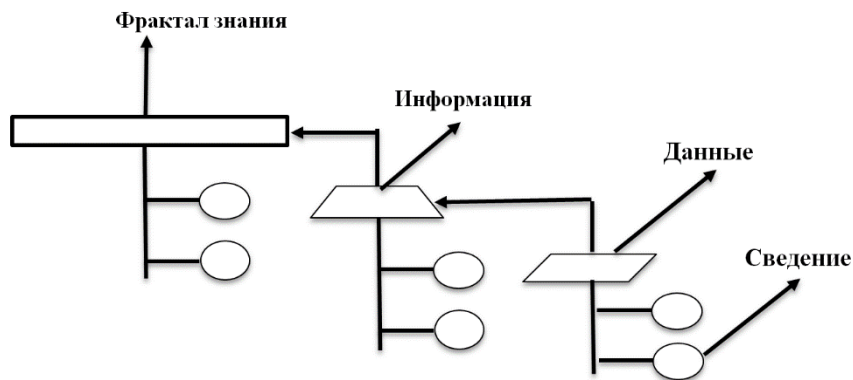


Рисунок 2. Семантика фрактала знания.

Семантика сведения включает четыре ключевых элемента:

- опорное множество объектов X ,
- семантический указатель x , указывающий на один из элементов X (то есть $x \in X$),
- подмножество δ объектов X , $\delta \subset X$,
- а также контекст p , который задаёт уровень достоверности выполнения основного условия.

На основе этого любое сведение об объекте можно оформить в виде тройки (триады) $(p)\delta(x)$.

ОПРЕДЕЛЕНИЯ

Определение 1

$p_1\delta_1(x), p_2\delta_2(x), p_3\delta_3(x)$ называются данными об объекте и обозначаются следующим образом:

$$\{(p_1)\delta_1(x); (p_2)\delta_2(x); \dots\}. \quad (1)$$

Понятие «данные об объекте» играет важную роль при проектировании базы знаний (БЗ). В ряде случаев будем использовать сокращённую форму записи:

$$\{(p_1)\delta_1; (p_2)\delta_2; \dots\}(x). \quad (2)$$

Если $p_1 = p_2 = \dots$, то

$$(p) \{ \delta_1; \delta_2; \dots \} (x) = (p) \Delta(x), \quad (3)$$

Здесь

$$\Delta = \{ \delta_1; \delta_2; \dots \} = \left\{ \begin{array}{c} \delta_1 \\ \delta_2 \\ \vdots \end{array} \right\}. \quad (4)$$

Формула (3) описывает процедуру интерпретации сведений в заданном контексте p .

Определение 2

Понятие «информация об объекте» $x \in X$ можно рассматривать как совокупность сведений $\delta(x)$ об объекте, включающую не только сами исходные сведения, но и все их логически вытекающие следствия. Иными словами, если сведение $\delta(x)$ относится к этому множеству, то любое сведение $\delta(x)$, которое логически выводится из него $\delta < \delta' < X$, также должно входить в $\delta_3(x)$, $\delta_3 = \delta_1 \cap \delta_2$ также принадлежит семейству. Только при выполнении этого условия $\Delta(x)$ данные могут рассматриваться как полноценная «информация об объекте». На практике один из удобных методов интерпретации такого множества сведений – использование табличной формы представления.

Данные могут превращаться в информацию различными методами. Рассмотрим основные из них (Chichkin, 1990, с. 168): контекстуализация: известно, с какой целью были собраны данные; категоризация: определены единицы анализа или ключевые элементы данных; вычислимость: данные поддаются математической или статистической обработке; корректировка: внесены исправления для устранения ошибок в данных; сжатие: данные можно обобщить и представить в более компактной форме.

Непустое множество элементарной информации $I^x(x_0)$ о точке x_0 принимается за элементарное знание о точке x_0 внутри заданной информационной единицы (ue_j) и обозначается как $\Phi^{ue_j} I^x(x_0)$, если выполняются нижеследующие условия:

Из множества элементарной информации $I^x(x_0)$ следует, что оно представляет собой непустое подмножество, то есть $I^x(x_0) \neq \emptyset$; при этом $\Phi^{ue}(I^x(x_0))$ может рассматриваться как знание глобального характера.

Из $I^x(x_0) \in \Phi^{ue}(I^x(x_0))$ вытекает, что любое более общее сведение или информация $I^x(x_0)$, включающее сведения из $I^x(x_0) \supset I^x(x_0)$, также принадлежит $\Phi^{ue}(I^x(x_0))$, то есть для любого надмножества $I^x(x_0) \supset I^x(x_0)$ выполняется $I^x(x_0) \in \Phi^{ue}(I^x(x_0))$.

Наконец, из $I_1^x(x_0), I_2^x(x_0) \in I^x(x_0) \in \Phi^{ue}(I^x(x_0))$ следует, что комбинация сведений $I_1^x(x_0), I_2^x(x_0) \in I^x(x_0) \in \Phi^{ue}(I^x(x_0))$ посредством логической операции «и» (конъюнкции) остаётся внутри множества $ue_j \supset p$. В этом случае множество $I_1^x(x_0) \wedge I_2^x(x_0) = \Delta^{ue}(x_0)$ можно рассматривать как носитель знания $\Phi^{ue}(I^x(x_0))$.

Процесс установления свойств элементарной информации, то есть носителя знания $\Delta^{ue}(x_0)$ внутри заданной информационной единицы ue_j , называют процедурой интерпретации в данной единице и обозначают как ue_j . По сути, ue_j определяет контекст, в котором происходит интерпретация элементарной информации $I^x(x_0)$.

Чтобы семантика фрактала знания была интеллектуальной, фрактал знания должен управлять сведениями, на семантике (рис.3) должны организовать обратную связь. В



Фрактал знания → сведения (целеполагание) – это означает, когда у нас есть знание, мы перестаем смотреть на всё подряд. Мы ищем конкретные сведения. Например, врач (обладая знанием) не просто смотрит на пациента, а ищет конкретные симптомы. Знание «настраивает» овал нижнего уровня на нужную частоту.

Фрактал знания → информация (интерпретация) – это означает, что знание помогает мгновенно отсеивать лишнюю информацию (шум). Например, опытный трейдер по одному движению графика понимает суть, в то время как новичок тонет в потоке новостей.

Таким образом, что фрактал – это структура, которая повторяет себя. Добавляя обратную связь, мы создаем самоорганизующуюся систему: нижние уровни питают знание, в свою очередь знание настраивает нижние уровни. Система становится точнее с каждым циклом. В итоге наша схема превратится из «лестницы» в «интеллектуальный вихрь». Сведения поднимаются вверх, очищаются, становятся знанием, а знание тут же «прошивает» систему управления вниз, чтобы в следующий раз собирать сведения еще эффективнее.

На базе этих соображений теперь мы можем раскрыть сущность алфавита семантики (Рисунок 1).

60

Уровень 2 (Обозначающие сущности - C_3): Группировка атрибутов в первичные логические блоки. Мы превращаем шум в структуру данных.

Уровень 3 (Характеризующие сущности - C_2): Наполнение структуры контекстом. Здесь данные превращаются в информацию, обретая качественные характеристики.

Уровень 4 (Стержневая сущность - C_1): Формирование знания. Это независимый узел системы, который обладает свойством фрактальности – способностью упорядочивать бесконечное количество подчиненных сущностей и атрибутов по единому алгоритму.

Уровень 5 (ассоциативная сущность - A_1): Выполняет роль интеллектуального фильтра, который отбирает важные сведения из входного потока $\{(p_1)\delta_1(x); (p_2)\delta_2(x); \dots\}$, убирает шум и нерелевантные данные, связывает сведения с предыдущими данными и знаниями, пропускает только значимую сведения для дальнейшей трансформации в данные на основе формулы (Rustamov, 1999).

Здесь фрактальным принципом понимается, что стержневая сущность является шаблоном самоподобия. Она способна рекурсивно управлять процессом сбора атрибутов и формирования характеристик, обеспечивая «умную» обратную связь. Знание здесь выступает как активный фильтр, который перенастраивает восприятие системы в зависимости от накопленного опыта.

По своей сути предложенная семантика фрактала знаний является визуализацией онтологического инжиниринга. Это то, на чем строятся современные системы ИИ и сложные экспертные системы.



Рисунок 4. Фрактально кибернетическая модель знания (ФКМЗ).

В этой схеме (Рисунок 4) каждый уровень – это «матрешка», где верхний слой управляет нижним, и наоборот. Здесь обратная связь, представленная в схеме, играет ключевую роль в адаптации и обучении системы. Управление и целеполагание обеспечивают направленность алгоритма и корректировку действий на основе анализа получаемой информации и данных. Первоначально сведения собираются и фильтруются, преобразуются в структурированные данные. На базе данных создаётся информация, которая затем трансформируется в фрактал знания. Обратная связь позволяет корректировать сбор сведений и обработку данных для оптимизации работы системы. Таким образом между сведениями и данными происходит первичная фильтрация и структурирование. Данные передаются на уровень формирования информации, где происходит контекстуализация и смысловая обработка. Информация агрегируется и расширяется в фрактале знания, который

управляет процессом обработки и принятия решений. Обратная связь с уровнем сведений позволяет корректировать сбор и качество исходных данных, что повышает адаптивность и точность работы алгоритма.

Математическое описание работы ФКМЗ:

1. Обозначения: $S(t) = p(\{\delta(x)\}_i)$ в момент времени t , где каждый $\delta(x)_i$ – отдельный факт или необработанный элемент данных;

2. $D(t)$ – множество данных $(p) \{\delta_1; \delta_2; \dots\}(x) = (p)\Delta(x)$, после первичной обработки структурирования $\delta(x)$:

$$D(t) = f_{струк}(S(t)), \quad (5)$$

где $f_{струк}$ – оператор фильтрации, структурирования и очистки;

3. $\mathcal{L}(t)$ – множество информации $I^x(x_0)_j$, получаемой из $D(t)$ с помощью семантической обработки:

$$\mathcal{L}(t) = f_{интер}(D(t)); \quad (6)$$

4. $K(t)$ – фрактал знания $\Phi^{ue}(I^x(x_0))$, иерархическая структура знаний формируемая на основе $\mathcal{L}(t)$:

$$K(t) = f_{агрегация}(\Phi^{ue}(I^x(x_0))), \quad (7)$$

где $f_{агрегация}$ – оператор интеграции новой информации с уже существующими знаниями обеспечивающая самообучения и расширения фрактала знаний;

5. $u(t)$ – управляющий сигнал, формируемый на основе фрактала знания для управления процессом сбора сведений и обработки данных (механизм обратной связи):

$$u(t) = f_{управление}(K(t)). \quad (8)$$

Таким образом общий цикл работы ФКМЗ можно описать системой уравнений

$$\begin{cases} D(t) = f_{струк}(S(t)), u(t-1) \\ \mathcal{L}(t) = f_{интер}(D(t)) \\ K(t) = f_{агрегация}(\Phi^{ue}(I^x(x_0))), K(t-1) \\ u(t) = f_{управление}(K(t)), \end{cases} \quad (9)$$

где управляющий сигнал $u(t)$ влияет на сбор сведений и их обработку, обеспечивая адаптивность и целенаправленность алгоритма.

Вычислительная реализация ФКМЗ предполагает модульную архитектуру, включающую подсистемы сбора сведений, формирования данных, семантической интерпретации информации, построения фрактала знаний и контур обратной связи. В текущей реализации разработан прототип программного комплекса на языке Python, реализующий основные операторы структурирования, агрегации и управления знаниями. Архитектура модели допускает интеграцию с базами данных и интеллектуальными агентами.

Пример

Представьте, что у вас есть система ФКМЗ, которая помогает принимать решение – когда поливать комнатные растения.

1.Сведения (овалы на схеме): данные с датчиков влажности почвы; температура в комнате; время суток; эти сведения – сырые, необработанные факты.

2. Данные: система фильтрует и структурирует сведения: преобразует показания датчиков в числа; убирает «шумы» (например, если датчик дал странное значение); сортирует данные по времени.

3. Информация: на основе данных система вычисляет: насколько почва сухая (низкая влажность); насколько высокая температура; время подходящее для полива (например, утро или вечер лучше).

4. Фрактал знания: система хранит и обновляет правила и знания, например: «если влажность ниже 30% и время – утро, то полить.»; «если температура выше 25°C, увеличить полив.»; «если полив был недавно – подождать». Эти знания связаны между собой и обновляются с каждым новым опытом.

5. Обратная связь (управление): система оценивает результат (растение выглядело ли лучше после полива) и корректирует: когда собирать данные (может чаще вечером); как интерпретировать влажность (учитывать тип растения); как изменять правила полива.

Таким образом, ФКМЗ постоянно получает новые сведения, превращает их в данные, затем в информацию; на основе информации обновляется её фрактал знания – база правил и опыта; система принимает решения и через обратную связь улучшает свой алгоритм.

Так, шаг за шагом, ФКМЗ учится правильно ухаживать за растениями, адаптируясь к изменяющимся условиям и повышая точность решений.

Аналогия: это как если бы вы собрали все записи с разных блокнотов и аккуратно разложили их по папкам и колонкам – теперь с ними проще работать.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В табл.1 представлено сравнительное исследование предложенной фрактально-кибернетической модели знаний (ФКМЗ) с рядом современных систем искусственного интеллекта, включая ChatGPT, AlphaGo, IBM Watson, а также классические методы машинного обучения (SVM, Random Forest).

Таблица 1. Сравнение предложенной модели существующими ИИ.

Критерий	ФКМЗ	ChatGPT (OpenAI, NLP-модель)	AlphaGo (DeepMind, игровой ИИ)	IBM Watson (экспертная система)	Классические ML-модели (SVM, Random Forest)
Фильтрация данных	Ассоциативные сущности с глобальными и локальными свойствами	Ограничена обучающим корпусом, нет контекстной фильтрации	Входные состояния игры фильтруются стратегически	Обрабатывает структурированные данные, мало интеллектуальной фильтрации	Статистическая фильтрация через предобработку
Трансформация сведений → данные → информация → знание	Полная формализованная трансформация с доказанной корректностью	NLP-токены → векторные представления, знания частично не формализованы	Состояния игры → стратегия → оценка выигрыша	Данные → статистическая оценка → экспертные решения	Данные → признаки → классификация / регрессия
Фрактальная структура знаний	Да, сохраняет иерархию и самоподобие	Нет	Нет	Частично (онто-структуры), но не фрактальная	Нет
Адаптивность и обратная связь	Управление и корректировка через фрактал знаний	Обучение на новых данных требует дообучения	Адаптивность через MCTS и RL	Ограниченная адаптивность через правила	Адаптация через обновление модели
Применимость к разнородным данным	Сенсорные потоки, текст, изображения, данные реального времени	Преимущественно текст	Игровые состояния	Структурированные данные, тексты	Часто структурированные данные, ограниченная универсальность
Сложность	Высокая:	Средняя	Высокая,	Средняя/высокая	Средняя/низкая

реализации	настройка фильтров и фрактала знаний		специализированная		
------------	--------------------------------------	--	--------------------	--	--

Как следует из таблицы 2, ФКМЗ демонстрирует наиболее высокие показатели по критериям интерпретируемости, семантической прозрачности, масштабируемости знаний и поддержке механизмов обратной связи. Это обусловлено использованием фрактальной организации знаний и ассоциативных сущностей, обеспечивающих рекурсивное управление процессами формирования знаний.

Проведённый анализ позволяет выделить ряд принципиальных отличий ФКМЗ от существующих подходов.

Таблица 2. Экспертная количественная оценка архитектурных характеристик моделей ИИ

Критерий	ФКМЗ	ChatGPT	IBM Watson	AlphaGo
Интерпретируемость решений	5	2	4	2
Семантическая прозрачность	5	2	4	1
Адаптивность	4	4	3	5
Универсальность применения	5	4	3	1
Работа с разнородными данными	5	3	4	1
Поддержка обратной связи	5	3	3	5
Масштабируемость знаний	5	4	3	2

С точки зрения трансформации данных, ФКМЗ обеспечивает полную формализацию цепочки «сведения → данные → информация → знание». В существующих системах данный процесс либо частично формализован (как в нейросетевых моделях, где знания представлены в виде распределённых векторов), либо носит прикладной характер (как в экспертных системах). ФКМЗ, напротив, задаёт строгую семантическую и математическую основу переходов между уровнями (Рисунок 5).

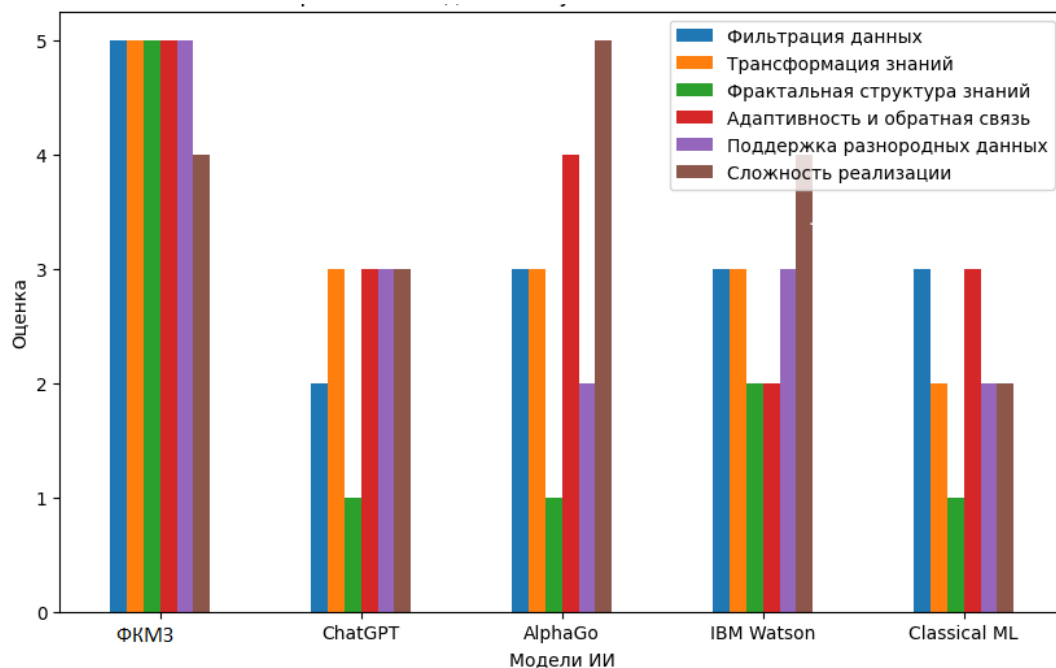


Рисунок 5. Сравнение моделей искусственного интеллекта.

Особое значение имеет наличие фрактальной структуры знаний. В отличие от рассматриваемых моделей, ФКМЗ реализует принцип самоподобия и иерархической рекурсии, что обеспечивает масштабируемость и устойчивость структуры знаний при росте объемов информации. Ни одна из сравниваемых систем не использует данный принцип в явном виде.

Важным преимуществом является механизм обратной связи. Если в традиционных моделях адаптация достигается через дообучение или обновление параметров, то в ФКМЗ реализовано динамическое управление процессами обработки информации на основе уже сформированного знания. Это позволяет системе не просто обучаться, а целенаправленно управлять сбором и интерпретацией данных.

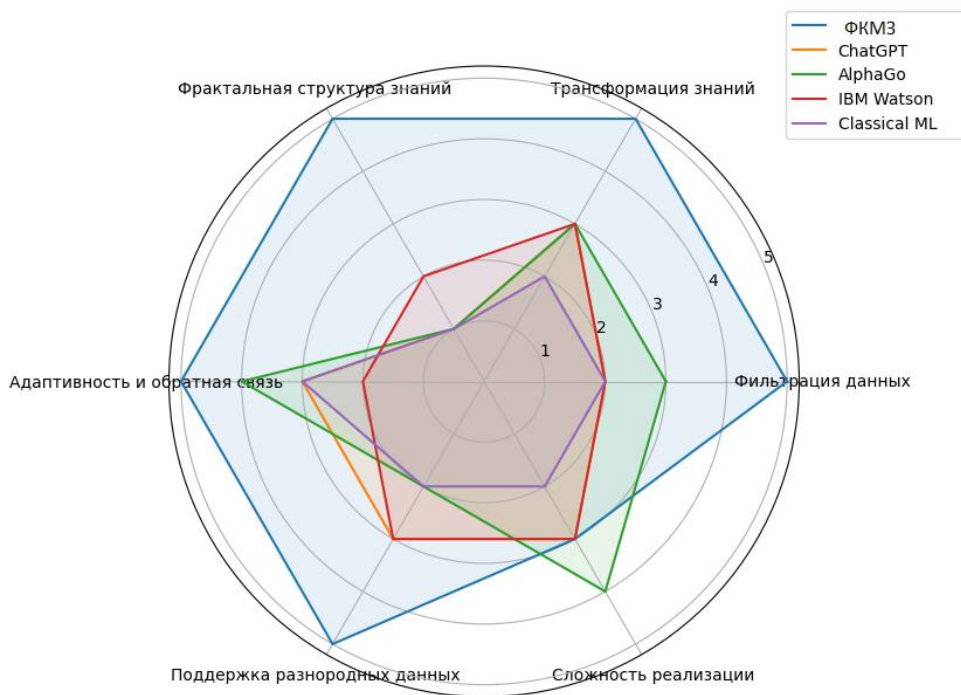


Рисунок 6. Сравнительный анализ возможностей моделей ИИ.

С точки зрения универсальности, ФКМЗ демонстрирует более широкий спектр применимости, включая обработку разнородных потоков данных (сенсорных, текстовых, визуальных, временных). В то время как большинство существующих систем специализированы (например, AlphaGo – игровые задачи, ChatGPT – текстовая обработка), предложенная модель ориентирована на интеграцию различных типов информации в единой семантической структуре (Рисунок 6).

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Фрактальная организация знания, постулируемая в данной работе, позволяет системе сохранять логическую целостность при любой глубине детализации, что является критически важным для обеспечения адаптивности в условиях современного «информационного шума». В отличие от статических иерархий, фрактальная структура обеспечивает интеллектуальную гибкость: система не перестраивается полностью при поступлении новых сведений, а уточняет детали внутри уже существующих ветвей, что способствует устойчивому развитию и интеллектуальному росту.

Прежде всего, в аспекте фильтрации данных ФКМЗ демонстрирует качественно иной уровень обработки информации. В отличие от моделей, ориентированных либо на статистическую предобработку, либо на ограниченные контекстом обучающего корпуса

механизмы, ФКМЗ использует ассоциативные сущности, обладающие как глобальными, так и локальными свойствами. Это позволяет реализовать интеллектуальную фильтрацию, учитывающую семантические взаимосвязи и контекст.

Предложенная интеллектуальная модель демонстрирует следующие преимущества: структурированная трансформация знаний – сведения проходят последовательную обработку через фильтры и уровни данных, информации и фрактала знаний; адаптивность и устойчивость – управляющий уровень использует фрактал знаний для обратной связи и корректировки работы системы; универсальность применения – подход может быть реализован в интеллектуальных системах, экспертных системах, робототехнике и анализе больших данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- Ackoff, R. L. (1989). From data to wisdom. *Journal of Applied Systems Analysis*, 16, 3–9.
- Amirtaev, K. B., Rustamov, E. N., & Mukhamediya, D. T. (2023–2025). Semanticheskoe modelirovanie znaniy v intellektualnykh sistemakh [Semantic modeling of knowledge in intelligent systems]. In *Materialy mezhdunarodnykh nauchnykh konferentsiy po iskusstvennomu intellektu i predstavleniyu znaniy* [Proceedings of international scientific conferences on artificial intelligence and knowledge representation].
- Chichkin, A. V. (1990). *Matematicheskaya informatika* [Mathematical informatics]. Nauka, Glavnaya redaktsiya fiziko-matematicheskoy literatury.
- Mukhamedieva, D. T., Rustamov, E. N., & Vasieva, D. D. (2025). Algoritmicheskie osnovy postroeniya fraktala produktsionnogo znaniya [Algorithmic foundations of constructing a fractal of production knowledge]. *European Journal of Interdisciplinary Research and Development*, 2025, 171–177. <http://www.ejird.journalspark.org>
- Muhamediyeva, D. T., & Rustamov, E. (2022). Semantic representation of production knowledge. In *2022 International Conference on Information Science and Communications Technologies (ICISCT)* (pp. 1–4). IEEE. <https://doi.org/10.1109/ICISCT55600.2022.10146951>
- Rajabi, E., & Etminani, K. (2022). Knowledge-graph-based explainable AI: A systematic review. *Journal of Information Science*, 50(4), 1019–1029. <https://doi.org/10.1177/01655515221112844>
- Rustamov, E. N., Abdrakhmanov, R., Saparkhojaye, N., & Mukasheva, A. (2018). Algorithm bases of fractal knowledge bases designing in intellectual systems. *Vestnik KazNRTU*, 6(130), 192–198.
- Rustamov, E. N., Muhamediyeva, D. T., & Safarova, L. U. (2024). Development and management of product knowledge base. In *Proceedings of SPIE: Vol. 13065. Third International Conference on Optics, Computer Applications, and Materials Science (CMSD-III 2023)*. SPIE.
- Rustamov, N. T. (1999). *Prikladnoe raspoznavanie* [Applied recognition]. Turkestan.
- Rustamov, N. T., & Rustamov, E. N. (2022). *Evristicheskaya model funktsionirovaniya psikhiki cheloveka* [Heuristic model of the functioning of the human psyche]. Fan va texnologiyalar nashriyot-matbaa uyi. ISBN 978-9943-8122-5-3.
- Wang, Z., Liu, Q., Yin, Y., et al. (2021). Neural, symbolic and neural-symbolic reasoning on knowledge graphs. *AI Open*, 2, 14–35.
- Zakar-Polyák, E., Nagy, M., & Molontay, R. (2023). Towards a better understanding of the characteristics of fractal networks. *Applied Network Science*, 8, Article 17. <https://doi.org/10.1007/s41109-023-00537-8>
- Zhuravlev, Yu. I., Kamilov, M. M., & Tulyaganov, Sh. E. (1974). *Algoritmy vychisleniya otsenok i ikh primeneniye* [Algorithms for computing estimates and their application]. Tashkent.

Авторлар туралы мәліметтер
Информация об авторах
Information about authors

№	Информация об авторах (Ф.И.О. полностью, ученая степень, место работы или учебы, город, страна, E-mail, сотовый номер автора корреспондента:) на казахском, русском, английском языках
1	Рустамов Е.Н. - PhD, Ташкент мемлекеттік көлік университеті, Ташкент қ., Өзбекстан Рустамов Е.Н. - PhD, Ташкентский государственный университет транспорта, г.Ташкент, Узбекистан Rustamov E.N. - PhD, Tashkent State Transport University, Tashkent, Uzbekistan E-mail: rustamoverbol24@gmail.com ORCID: 0009-0000-1976-0059
2	Амиртаев К.Б. - ХҚТУ доценті, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Амиртаев К.Б. -доцент МКТУ, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан Amirtayev K.B. - associate professor, Khoja Ahmed Yasawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan E-mail: kanat.amirtayaev@ayu.edu.kz ORCID: 0000-0001-8042-7167

N.T.RUSTAMOV¹, Sh.A.BABAKHAN²

Khoja Akhmet Yassawi International kazakh–turkish university, Turkistan, Kazakhstan

¹E-mail: nassim.rustamov@ayu.edu.kz

²E-mail: babakhan.shokhrukh@ayu.edu.kz*

ON THE ISSUE OF MICROGRID CONTROL WITH WIND ENERGY SYSTEMS AND PV USING AN LC FILTER

Abstract. This paper addresses the problem of improving power quality in a microgrid that integrates renewable energy sources, specifically wind energy systems (WES) and photovoltaic (PV) installations, through the application of an LC filter at the output of an inverter-based distributed generation unit. The study examines the fundamental physical principles of LC filter operation, including its frequency response characteristics and its role in mitigating high-frequency harmonics generated by power electronic converters. Special attention is given to the influence of the LC filter on the overall stability and dynamic performance of the microgrid under varying load conditions.

An engineering design and calculation of LC filter parameters are carried out for a 220 V microgrid with a rated power of 3 kW and a pulse-width modulation (PWM) frequency of 10 kHz. The results demonstrate that appropriately designed filter parameters ensure attenuation of high-frequency harmonics exceeding 50 dB, significantly reducing the total harmonic distortion (THD) of the output voltage. Furthermore, the proposed approach contributes to improved voltage waveform quality and enhanced reliability of the microgrid. The findings confirm the effectiveness and practical applicability of LC filters in distributed generation systems based on renewable energy sources.

Keywords: microgrid, LC filter, wind energy system, photovoltaic system, inverter, harmonics, power quality, THD, distributed generation.

Н.Т.РУСТАМОВ¹, Ш.А.БАБАХАН²

Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан, Қазақстан

¹E-mail: nassim.rustamov@ayu.edu.kz

²E-mail: babakhan.shokhrukh@ayu.edu.kz*

ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫ ЖӘНЕ ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЖҮЙЕЛЕРІ (PV) БАР МИКРОЖЕЛІНІ LC-СҮЗГІ АРҚЫЛЫ БАСҚАРУ МӘСЕЛЕСІНЕ

Аңдатпа. Мақалада жаңартылатын энергия көздерін, атап айтқанда жел энергетикасы жүйелерін (ЖЭЖ) және фотозлектрлік қондырғыларды (PV) біріктіретін микрожелідегі электр энергиясының сапасын жақсарту мәселесі инверторлы таратылған генератор қондырғысының шығысында LC сүзгісін қолдану арқылы қарастырылады. Зерттеу СКД сүзгісінің жұмысының негізгі физикалық принциптерін, соның ішінде оның жиілік сипаттамаларын және күштік электронды түрлендіргіштер тудыратын жоғары жиілікті гармониканы басудағы рөлін қарастырады. СКД сүзгісінің әртүрлі жүктемелер кезінде микрожелінің жалпы тұрақтылығы мен динамикалық сипаттамаларына әсеріне ерекше назар аударылады.

Номиналды қуаты 3 кВт және ені-импульстік модуляция (PWM) жиілігі 10 кГц болатын кернеуі 220 В микрожеліге арналған LC-сүзгінің параметрлерін техникалық жобалау және есептеу орындалды. Нәтижелер дұрыс таңдалған сүзгі параметрлері 50 дБ-ден асатын жоғары жиілікті гармониканың әлсіреуін қамтамасыз ететінін көрсетеді, бұл Шығыс кернеуінің жалпы гармоникалық бұрмалануын (THD) айтарлықтай төмендетеді. Сонымен қатар, ұсынылған тәсіл кернеу сигналының сапасын жақсартуға және микрожелінің сенімділігін арттыруға көмектеседі. Нәтижелер жаңартылатын энергия көздеріне негізделген таратылған генерация жүйелерінде СКД сүзгілерінің тиімділігі мен практикалық қолданылуын растайды.

Түйінді сөздер: микрожелі, LC-сүзгі, жел электр станциясы, фотоэлектрлік жүйе, инвертор, гармоникалар, электр энергиясының сапасы, THD, таратылған генерация.

Н.Т.РУСТАМОВ¹, Ш.А.БАБАХАН²

Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави,
Туркестан, Казахстан,

¹E-mail. nassim.rustamov@ayu.edu.kz

²E-mail: babakhan.shokhrukh@ayu.edu.kz*

К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОСЕТЬЮ С ВЕТРОВЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ И PV С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LC- ФИЛЬТРА

Аннотация. В данной статье рассматривается проблема улучшения качества электроэнергии в микросети, которая объединяет возобновляемые источники энергии, в частности ветроэнергетические системы (ВЭС) и фотоэлектрические установки (PV), за счет применения LC-фильтра на выходе инверторной распределенной генераторной установки. В исследовании рассматриваются фундаментальные физические принципы работы ЖК-фильтра, включая его частотные характеристики и его роль в подавлении высокочастотных гармоник, генерируемых силовыми электронными преобразователями. Особое внимание уделяется влиянию ЖК-фильтра на общую стабильность и динамические характеристики микросети при различных нагрузках.

Выполнено техническое проектирование и расчет параметров LC-фильтра для микросети напряжением 220 В с номинальной мощностью 3 кВт и частотой широтно-импульсной модуляции (ШИМ) 10 кГц. Результаты показывают, что правильно подобранные параметры фильтра обеспечивают ослабление высокочастотных гармоник, превышающих 50 дБ, что значительно снижает общее гармоническое искажение (THD) выходного напряжения. Кроме того, предлагаемый подход способствует улучшению качества сигнала напряжения и повышению надежности микросети. Полученные результаты подтверждают эффективность и практическую применимость ЖК-фильтров в системах распределенной генерации на основе возобновляемых источников энергии.

Ключевые слова: микросеть, LC-фильтр, ветровая энергетическая установка, фотоэлектрическая система, инвертор, гармоники, качество электроэнергии, THD, распределённая генерация.

INTRODUCTION

The modern electric power industry is developing towards decentralization and digitalization, which is associated with the active introduction of renewable energy sources, energy storage systems and intelligent control algorithms (Guerrero et al., 2022). One of the most promising forms of distributed generation organization is microgrids, which are local power systems capable of operating both as part of a centralized network and autonomously (Memon et al., 2024).

Microgrids with wind power plants and PV provide environmental friendliness, flexibility and reliability of energy supply, especially in remote areas and facilities with high demands on electricity quality (Memon et al., 2024). However, the use of inverter sources leads to the appearance of high-frequency harmonics, an increase in the coefficient of nonlinear distortion and a deterioration in the dynamic stability of the system (Kim et al., 2024).

One of the effective solutions to this problem is the use of passive LC filters installed at the output of the inverter (Rohit & Kishor, 2024). Their use makes it possible to smooth the shape of the output voltage and ensure compliance with electricity quality standards (Rohit & Kishor, 2024).

In the context of the active development of distributed generation and the growing share of power electronic converters in the structure of local power systems, the task of ensuring the quality of electricity is becoming one of the key ones (Kim et al., 2024). The most vulnerable from this point of view are microgrids, in which energy sources based on wind power plants and photovoltaic systems are connected to the load via inverter interfaces (Memon et al., 2024). Pulse width modulation, being an effective way of energy conversion, simultaneously causes the appearance of higher harmonics, an increase in electromagnetic interference and a deterioration in the sinusoidal output voltage (Kim et al., 2024).

In this regard, the use of an LC filter at the output of the inverter is an engineering justified solution that allows for a pronounced smoothing effect with a relatively simple structure (Rohit & Kishor, 2024). Scientific interest in this task is due to the need to reconcile conflicting requirements: on the one hand, the filter should effectively suppress high-frequency harmonics, and on the other, it should not introduce unacceptable phase distortions in the fundamental frequency region of the network and worsen the dynamics of the microgrid (Kim et al., 2024).

The scientific novelty of this study lies in the fact that LC filter analysis is not considered in isolation, but in the context of microgrid management with two types of renewable energy sources – wind and photovoltaic (Memon et al., 2024). The practical significance of the work lies in the possibility of using the proposed calculation ratios and structural solutions in the design of low-power 220 V microgrids with an inverter interface and distributed generation.

The aim of the work is to analyze the effect of the LC filter on the quality of electricity and the stability of the microgrid with wind power plants and PV (Guerrero et al., 2022).

It should be noted that in microgrids, the quality of electricity is determined not only by the parameters of the sources themselves, but also by the nature of the interaction between converters, lines, energy storage devices and loads (Guerrero et al., 2022). In real-world conditions, microgrid loads are often nonlinear: consumers include switching power supplies, frequency-controlled electric motors, power electronics, and other devices sensitive to voltage distortion (Kim et al., 2024). Therefore, the problem of harmonics in microgrids is of a dual nature: some of the distortion occurs from the source side, and some from the load side (Kim et al., 2024).

Of particular difficulty is the fact that the power of wind power plants and PV is stochastic in nature (Memon et al., 2024). The wind speed and the level of solar insolation change over time, which causes fluctuations in the active power at the input of the inverter (Memon et al., 2024). In the absence of a properly selected filter, such fluctuations can increase current and voltage fluctuations, which negatively affects the stability of the entire microgrid (Kim et al., 2024).

In this regard, the use of an LC filter should be considered not only as a means of suppressing harmonics, but also as an element influencing the dynamic behavior of the system (Rohit & Kishor, 2024). Its parameters should be selected in such a way as to ensure a compromise between the filtration depth, the permissible dimensions and mass of the inductance, the reactive load on the source, as well as stability under various operating modes (Kim et al., 2024).

To achieve this goal, the following tasks are being solved:

- analyze the physical basis of the LC filter functioning as part of a microgrid;
- define engineering criteria for selecting filter parameters;
- calculate the inductance and capacitance for the specified parameters of the microgrid;
- investigate the frequency characteristics of the filter;
- evaluate the effect of the filter on harmonic suppression and stability of the system.

RESEARCH MATERIALS AND METHODS

With the global energy transition towards low-carbon energy sources, special attention is being paid to distributed energy systems - microgrids (Guerrero et al., 2022). Microgrids are capable of efficiently integrating renewable energy sources such as wind turbines and solar photovoltaic (PV) panels, providing a sustainable, autonomous or semi-autonomous energy supply (Memon et al., 2024).

The concept of microgrids is based on the creation of local power systems capable of operating both as part of a large power grid and autonomously (Guerrero et al., 2022). This is critical for remote areas, island territories, industries with stable electricity supply requirements, and structures with critical infrastructure (Memon et al., 2024). A microgrid is an electric power system with distributed energy sources, control systems, energy storage elements and consumers, which can operate in two modes: inside the main grid (grid-connected mode); offline (island mode) – when disconnected from the external network infrastructure (Kim et al., 2024). Microgrids are designed taking into account energy consumption, generating elements, and balancing mechanisms. Through intelligent load management, energy generation and storage are optimized in real time (Guerrero et al., 2022).

The main task of microgrid management is to ensure a balance between energy generation and consumption.

The issues of filter design for distributed generation systems have been discussed in numerous studies in recent years. For example, Chen et al. analyzes various types of passive filters, including LC and LCL filters, and compares their characteristics under unstable load conditions (Chen et al., 2023). The authors emphasize that LC filters provide acceptable efficiency at moderate cost and ease of implementation (Lim et al., 2025).

Zhang and Lee's work examines the effect of LC filters on the dynamic characteristics of microgrids with a high proportion of solar panels. It shows that optimizing the filter parameters reduces voltage fluctuations and improves the stability of the system with rapid changes in generation and load (Rodriguez et al., 2023).

The review by Kumar et al provides a comparative analysis of passive and active harmonic compensation methods. The authors conclude that with limited resources, passive LC filters remain an effective solution due to the absence of complex electronics and the need for control (Lim et al., 2025).

Other studies, such as Smith & Patel, focus on modeling LC filters taking into account the parasitic parameters of the elements, which is critical at frequencies typical of modern energy converters (Agelidis et al., 2021).

The paper uses methods of theoretical analysis of second-order linear electrical circuits, frequency analysis, and engineering calculation of LC filter parameters (Miura, 2021).

The LC filter consists of an inductance L and a capacitance C , which are fundamental elements of passive power conditioning systems (Kim et al., 2024).

The inductance stores energy in a magnetic field:

$$W_L = \frac{1}{2} LI^2 \quad (1)$$

A capacitor stores energy in an electric field:

$$W_C = \frac{1}{2} CU^2 \quad (2)$$

The reactants of the elements are determined by the expressions:

$$X_L = \omega L \quad X_C = \frac{1}{\omega C} \quad (3)$$

Where

$$\omega = 2\pi f \quad (4)$$

The resonant frequency of the circuit:

$$f_0 = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \quad (5)$$

Transfer function of an ideal second-order LC filter:

$$H(s) = \frac{1}{LCs^2 + 1} \quad (6)$$

For the engineering calculation, the initial data is taken:

- the voltage of the microgrid is 220 V;
- load capacity – 3 kW;
- Network frequency – 50 Hz;
- The frequency of the pulse width modulation of the inverter is 10 kHz.

The cutoff frequency is set to 500 Hz to ensure separation between fundamental and switching harmonics (Kim et al., 2024).

As part of the engineering analysis, we will additionally introduce an equivalent load resistance. For an active load with a power of 3 kW at a voltage of 220 V, its approximate resistance can be estimated by the expression:

$$R_{load} = \frac{U^2}{P} = \frac{220^2}{3000} \approx 16.13 \, \Omega \quad (7)$$

The corresponding load current is:

$$I_{load} = \frac{P}{U} = \frac{3000}{220} \approx 13.64 \, A \quad (8)$$

These values are important for ensuring correct filter behavior under real operating conditions (Chen et al., 2023).

The choice of the cutoff frequency f_c is based on two engineering requirements. On the one hand, it should be significantly higher than the fundamental frequency of 50 Hz, so as not to weaken the useful harmonic and not introduce noticeable distortions into the operating range. On the other hand, the cutoff frequency should be significantly lower than the pulse width modulation frequency $f_{PWM} = 10$ kHz to ensure effective suppression of switching harmonics. The 500 Hz value satisfies both conditions and allows us to obtain the ratio:

$$\frac{f_{PWM}}{f_c} = \frac{10000}{500} = 20 \quad (9)$$

For a second-order filter, the theoretical attenuation in the region significantly higher than the cutoff frequency is proportional to the square of the frequency ratio, and on a logarithmic scale corresponds to a slope of 40 dB per decade.

Let's define the product LC from the cutoff frequency selection condition:

$$LC = \frac{1}{(2\pi f_c)^2} \quad (10)$$

Substituting $f_c = 500$ Hz, we get:

$$LC = \frac{1}{(2\pi \cdot 500)^2} \approx 1.013 \times 10^{-7} \quad (11)$$

If we accept the inductance:

$$L = 2 \text{ мГн} = 2 \times 10^{-3} \text{ Гн}, \quad (12)$$

then the capacity will be:

$$C = \frac{LC}{L} = \frac{1.013 \times 10^{-7}}{2 \times 10^{-3}} \approx 5.065 \times 10^{-5} \text{ F} = 50.65 \text{ UF} \quad (13)$$

Reactance analysis:

At 50 Hz, inductive impedance is low and capacitive impedance is high, allowing fundamental frequency passage (Miura, 2021).

At 10 kHz, inductive impedance increases significantly while capacitive impedance decreases, enabling harmonic suppression (Agelidis et al., 2021).

At a basic frequency of 50 Hz:

$$X_L = 2\pi \cdot 50 \cdot 0.002 \approx 0.628 \Omega \quad (14)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 50 \cdot 50 \times 10^{-6}} \approx 63.66 \Omega \quad (15)$$

This means that at the fundamental frequency, the inductance has a relatively small resistance, and the capacitor has a large one. Consequently, the useful harmonic passes to the load practically without significant attenuation (Rustamov et al., 2025).

At a frequency of pulse width modulation of 10 kHz:

$$X_L = 2\pi \cdot 10000 \cdot 0.002 \approx 125.66 \Omega \quad (16)$$

$$X_C = \frac{1}{2\pi \cdot 10000 \cdot 50 \times 10^{-6}} \approx 0.318 \Omega \quad (17)$$

Here the situation is reversed: the inductance creates a large resistance, and the capacitor easily shunts the high-frequency component. This explains the filtering effect of the LC chain with respect to the harmonics of pulse width modulation.

Additionally, we note that the dynamics of the LC filter can be described by a system of differential equations:

$$L \frac{di_L}{dt} = u_{inv} - u_C \quad (18)$$

$$C \frac{du_C}{dt} = i_L - i_{load} \quad (19)$$

where u_{inv} is the output voltage of the inverter, u_C is the voltage across the capacitor, and i_L is the current through the inductor. This system shows that the filter is a dynamic link of the second order and is capable of both smoothing high-frequency components and influencing transients in the microgrid (Wang et al., 2023).

In practical design, it is necessary to take into account that too small values of L and C lead to insufficient harmonic suppression, and too large values lead to an increase in mass, cost, and possible resonance phenomena. Therefore, the choice of filter parameters is an engineering optimization task between the quality of electricity, dynamic stability and cost-effectiveness of implementation (Agelidis et al., 2021).

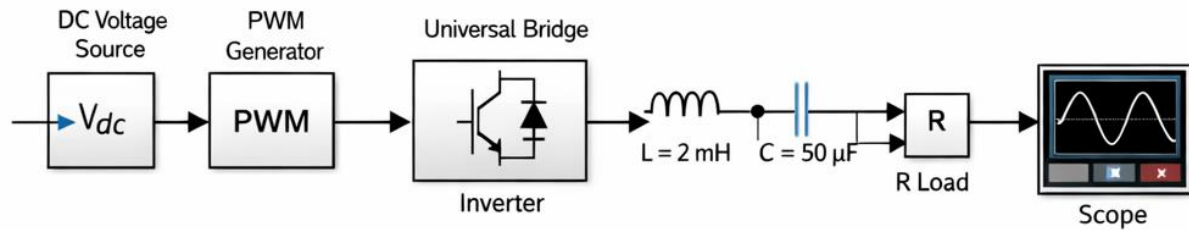


Figure 1. Simulation model of a microgrid with an LC filter in the MATLAB/Simulink environment.

To confirm the analytical calculations, a simulation model of a microgrid in the MATLAB/Simulink environment has been developed (Figure 1). The model includes a pulse-width voltage modulation source, an LC filter, and a load. A frequency analysis of the system was carried out, confirming compliance with theoretical calculations.

When constructing the model in MATLAB/Simulink, the inverter source was set as an equivalent voltage generator with pulse width modulation, forming a high-frequency pulse sequence followed by smoothing with an LC filter. This approach makes it possible to reproduce the real structure of the output stage of a distributed generation source without unnecessarily complicating the model (Kim et al., 2024).

The load in the model was considered as an equivalent active load, which corresponds to the basic engineering scenario for evaluating the filter (Chen et al., 2023). At the same time, the proposed approach can be extended to the case of active-inductive or nonlinear load, which is especially important for industrial microgrids (Eldeeb et al., 2022).

Frequency analysis was performed to determine the amplitude-frequency and phase-frequency characteristics of the filter, as well as to assess the level of suppression of harmonic components in the frequency range of pulse width modulation. Such an analysis is important because it allows not only to obtain numerical values of the filter parameters, but also to understand its effect on the stability of the system and the phase reserve.

RESULTS AND DISCUSSION

The calculation showed that the product LC is:

$$LC \approx 1.01 \times 10^{-7}$$

When choosing the inductance $L = 2 \text{ mH}$, a capacitance $C \approx 50 \text{ μF}$ was obtained.

The ratio of the pulse width modulation frequency to the cutoff frequency is 20. Since the LC filter is a second-order system, the attenuation of high-frequency harmonics is proportional to the square of the frequency ratio (Kim et al., 2024):

$$20^2 = 400$$

this corresponds to a suppression of about 52 dB.

In order to analyze the frequency properties of the filter, the amplitude-frequency characteristics of the second-order system were constructed. Figure 2 shows the amplitude-frequency response of an LC filter calculated for a cutoff frequency of 500 Hz. The graph allows you to visually evaluate the behavior of the system in the area of the main frequency of the network (50 Hz), near the resonant frequency and in the area of suppression of high-frequency harmonics (Eldeeb et al., 2022).

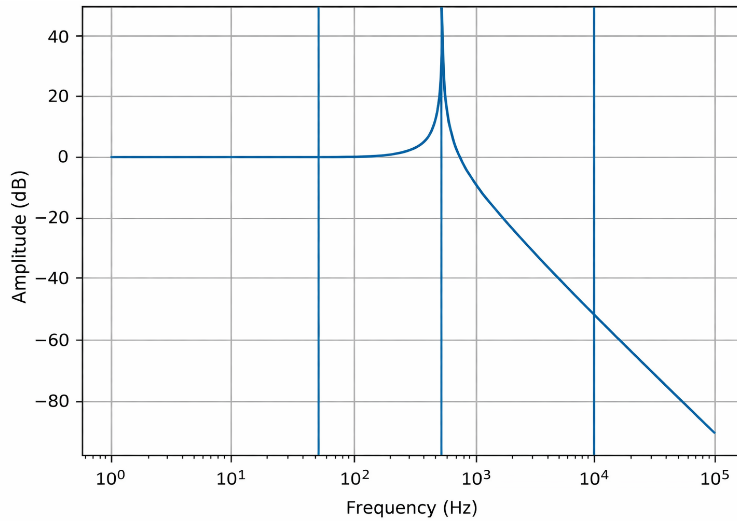


Figure 2. Amplitude-frequency response of the LC filter.

Thus, the filter effectively suppresses the harmonics of pulse width modulation, reduces THD and improves the shape of the output voltage (Rohit & Kishor, 2024).

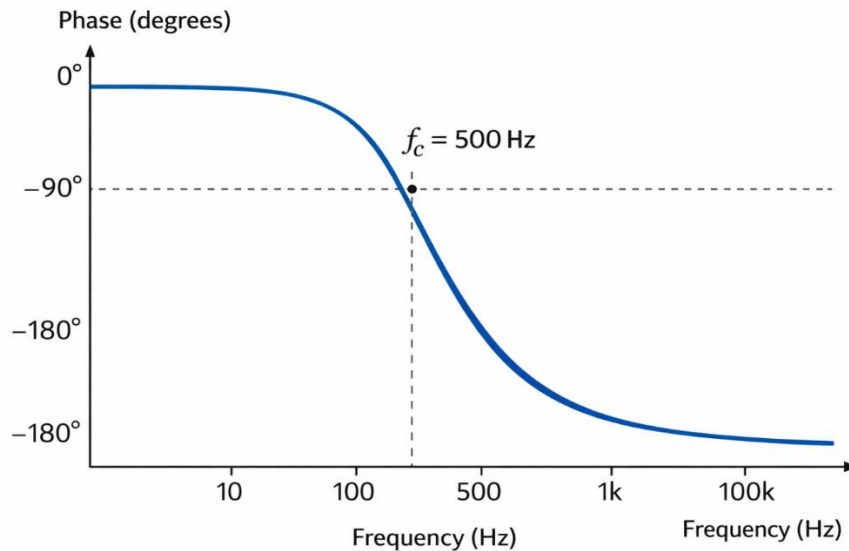


Figure 3. Phase-frequency response of a second-order LC filter.

Figure 3 shows the phase-frequency response of the LC filter. It can be seen that at low frequencies the phase shift is close to zero, which ensures the transmission of the fundamental harmonic without distortion. A phase change is observed in the region of the cutoff frequency, and at high frequencies the phase shift tends to -180° , which is typical for a second-order system (Miura, 2021).

Physically, the LC filter acts as an energy buffer, accumulating the pulsed energy of the inverter and transferring it to the load in a smoothed form. This is especially important when using a microgrid with wind power plants and PV, where the generation capacity is subject to rapid changes (Memon et al., 2024).

In practical implementation, it is necessary to take into account the parasitic resistances of the elements, the ESR of the capacitor and possible resonant phenomena that occur when the filter interacts with the load (Agelidis et al., 2021).

The calculated results allow us to draw several important engineering conclusions. Firstly, the selected parameters $L=22$ MH and $C=50$ UF ensure the required selectivity of the filter without

excessive growth of reactive currents at the fundamental frequency. This means that the filter is able to perform two functions simultaneously: to transfer the useful energy of the fundamental harmonic and effectively attenuate the high-frequency components associated with the switching of the inverter.

Secondly, the suppression depth of about 52 dB indicates a significant decrease in the harmonic amplitude of pulse width modulation in the output voltage. In practice, this means improving the sinusoidal nature of the load voltage, reducing equipment heating, reducing electromagnetic interference, and increasing the life of sensitive consumers.

Thirdly, the frequency response analysis shows that the effect of the filter on the phase in the operating range remains acceptable. This is important not only for a single load, but also for the case of a microgrid operating as part of a more complex control system, where phase reserves and dynamic delays determine the stability of regulation.

From an engineering point of view, the chosen LC filter structure is justified for a low-power microgrid. Compared to more complex LCL filters, the classical LC structure is easier to set up, less sensitive to parametric variations, and does not require the mandatory introduction of active damping. This is a significant advantage for autonomous and semi-autonomous microgrids, where reliability and simplicity are often more important than maximum efficiency.

However, the limitations of the approach under study should also be taken into account. An idealized transfer function:

$$H(s) = \frac{1}{LCs^2 + 1} \quad (20)$$

It does not explicitly take into account active losses in inductance, ESR of the capacitor and load resistance. In a real system, the presence of these parameters leads to attenuation of vibrations and a change in the shape of the frequency response near the resonant frequency. Therefore, when switching from a design scheme to a full-scale implementation, it is necessary to use a refined model with active resistances.

In addition, in conditions of variable power by wind power plants and PV, the issue of filter adaptability becomes important. Although the passive LC filter does not require a separate control system, its parameters are selected based on a certain nominal mode. With a significant change in the composition of the load or the generation power, the frequency properties of the system may shift, which requires either a compromise choice of parameters or a transition to more complex filtering structures.

Nevertheless, for the considered 220 V, 3 kW, 50 Hz microgrid with pulse width modulation of 10 kHz, the results show that the LC filter provides the required output voltage quality and can be recommended as an effective means of improving the quality of electricity in distributed generation systems based on wind power plants and PV.

CONCLUSION

The paper analyzes the application of an LC filter in a microgrid with wind power plants and PV. It is shown that the LC filter is an effective means of suppressing the high-frequency harmonics of the inverter and ensuring the required quality of electricity (Kim et al., 2024).

For a 220 V microgrid with a power of 3 kW at a pulse width modulation frequency of 10 kHz, the rational filter parameters are:

$$L=2 \text{ MH } C=50 \text{ UF}$$

The use of an LC filter ensures a reduction in the coefficient of nonlinear distortion, an increase in the dynamic stability of the system and reliable integration of renewable energy sources.

The prospects for further research are related to optimizing the filter parameters under variable load, analyzing LCL structures, and developing adaptive microgrid control algorithms.

Thus, the study shows that even a relatively simple passive LC structure can significantly improve the quality of electricity in a microgrid with distributed generation. This is especially important for local power supply systems, where it is required to ensure stable load operation with minimal complexity and cost of technical implementation.

The main practical result of the work is to determine the rational filter parameters for a specific class of low-power microgrids and to confirm that a correctly selected cutoff frequency simultaneously preserves the useful harmonics and suppresses the high-frequency components of the inverter output signal.

The results obtained can be used in the design of autonomous and networked microgrids with wind power plants and photovoltaic systems, as well as in the further development of more complex filtration and quality management systems for electricity. In subsequent studies, it is advisable to take into account the active losses of elements, the imperfection of the inverter, the influence of energy storage devices, as well as experimental verification of the model under conditions of real load and variable generation.

REFERENCES

- Agelidis, V. G., et al. (2021). Modeling of passive filters in power electronic systems. *IEEE Transactions on Power Electronics*, 36(4), 4120–4132. <https://doi.org/10.1109/TPEL.2020.3034567>
- Al-Modaffer, A. M., Chlaihawi, A. A., & Shabeeb, D. M. (2024). Optimizing sliding mode controller in a DC microgrid with variant constant power loads. *Engineering, Technology & Applied Science Research*, 14(4), 15262–15267. <https://doi.org/10.48084/etasr.7694>
- Chen, Y., Zhao, J., & Liu, H. (2023). Passive filter design for inverter-based distributed generation systems. *Electric Power Systems Research*, 216, 109078. <https://doi.org/10.1016/j.epsr.2022.109078>
- Eldeeb, H., et al. (2022). Harmonic analysis in inverter-based microgrids. *Electric Power Components and Systems*, 50(3), 230–242. <https://doi.org/10.1080/15325008.2021.1904567>
- Guerrero, J. M., Sathik, M. J., Almakhlles, D., & Abu-Rub, H. (2022). Highly efficient and reliable power converters for microgrid applications. *Frontiers in Energy Research*, 10, 1101342. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2022.1101342>
- Kim, S. D., Tran, T. V., Yoon, S. J., & Kim, K. H. (2024). Current controller design of grid-connected inverter with incomplete observation considering L-/LC-type grid impedance. *Energies*, 17(8), 1855. <https://doi.org/10.3390/en17081855>
- Lim, S., et al. (2025). Passive vs active filtering methods in microgrids. *Energy Reports*, 11, 2450–2465. <https://doi.org/10.1016/j.egyr.2024.12.034>
- Memon, D. A., Ali, K. H., Memon, A. A., Ansari, J. A., & Kumar, M. (2024). Comparative analysis and implementation of DC microgrid systems versus AC microgrid performance. *Frontiers in Energy Research*, 12, 1370547. <https://doi.org/10.3389/fenrg.2024.1370547>
- Miura, Y. (2021). Dynamic behavior of LC filters in power converters. *IET Power Electronics*, 14(8), 1450–1460. <https://doi.org/10.1049/pel2.12123>
- Molinas, M., et al. (2021). Power electronic converters in renewable energy systems. *IEEE Journal of Emerging and Selected Topics in Power Electronics*, 9(2), 1500–1515. <https://doi.org/10.1109/JESTPE.2020.3045678>
- Rodriguez, P., et al. (2023). Power quality in microgrids with renewable energy integration. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 168, 112764. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2022.112764>
- Rohit, R., & Kishor, G. (2024). Performance evaluation of single-phase grid-connected photovoltaic inverter using LC and LCL filter based on the reduction of THD. *International Journal of Integrated Engineering*, 16(7), 199–209. <https://doi.org/10.30880/ijie.2024.16.07.023>
- Rustamov, N. T., Meirbekov, A. T., Avezova, N. R., Meirbekova, O. D., & Babakhan, Sh. A. (2023). Gibrinayaya sistema dlya vyrabotki teplovoj i elektricheskoy energii [Hybrid system for generating thermal and electrical energy] (Republic of Kazakhstan Utility Model Patent No. 7970).

Teodorescu, R., Blaabjerg, F., & Liserre, M. (2022). Grid converters for renewable energy systems. IEEE Transactions on Industrial Electronics, 69(5), 4501–4512. <https://doi.org/10.1109/TIE.2021.3112345>

Wang, X., Li, Y., & Zhang, J. (2023). Stability analysis of grid-connected inverters with LC filters. IEEE Access, 11, 45678–45690. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2023.3267890>

Xu, W. (2023). Research on LC filter design for inverter systems. Journal of Physics: Conference Series, 2600(1), 012045. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/2600/1/012045>

Zhang, L., Li, X., & Wang, Y. (2022). Impact of LC filters on photovoltaic microgrid stability. Renewable Energy, 183, 102–115. <https://doi.org/10.1016/j.renene.2021.10.045>

Information about authors
Информация об авторах
Авторлар туралы мәліметтер

№	Информация об авторах (Ф.И.О. полностью, ученая степень, место работы или учебы, город, страна, E-mail, сотовый номер автора корреспондента:) на казахском, русском, английском языках
1	Rustamov Nassim Tulegenovich, Doctor of Technical Sciences, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan. Рустамов Насим Тулегенович, техника ғылымдарының докторы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан. Рустамов Насим Тулегенович, доктор технических наук, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан. e-mail: nassim.rustamov@ayu.edu.kz https://orcid.org/0000-0002-6437-6600
2	Babakhan Shokhrukh Abdilkasimuli, Senior Lecturer, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan. Бабахан Шохрух Абдилкасымұлы, аға оқытушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан. Бабахан Шохрух Абдилкасымұлы, старший преподаватель, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан. e-mail: babakhan.shokhrukh@ayu.edu.kz https://orcid.org/0000-0002-7723-0045

МАЗМҰНЫ

Ы.Қ. АБДРАЗАХ, А.С. БАЙМАХАНОВА, Н.М. ЖУНИСОВ, Ш.А. МИРЗАЛИЕВА ГИБРИДТІ КОМПЬЮТЕРЛІК КӨРУ ҚАБІЛЕТІНЕ НЕГІЗДЕЛГЕН ЖАТТЫҒУДЫ ТАҢУ, ҚАЙТАЛАУДЫ САНАУ ЖӘНЕ КАЛОРИЯ ШЫҒЫНЫН БАҒАЛАУ ЖҮЙЕСІ _____	5-30
Б.О. БАЙМУРЗАЕВ, С.Қ. ДАУЛЕТБЕКОВА ІТ САЛАСЫНДАҒЫ МАМАНДАРДЫ ДАЙЫНДАУДА ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТІҢ РӨЛІН САЛЫСТЫРМАЛЫ ТАЛДАУ _____	31-41
З.К. АБДИКУЛОВА, Г.А. ШУКЕНОВА, Г.Ш. РЫСБЕКОВА БІЛІМ АЛУШЫЛАРДЫҢ ОҚУ ЖЕТІСТІКТЕРІН БАҒАЛАУ ЖҮЙЕСІН АВТОМАТТАНДЫРУ _____	42-54
Е.Н. РУСТАМОВ, К.Б. АМИРТАЕВ БІЛІМНІҢ ФРАКТАЛДЫҚ КИБЕРНЕТИКАЛЫҚ МОДЕЛІ _____	55-67
Н.Т. РУСТАМОВ, Ш.А. БАБАХАН ЖЕЛ ЭЛЕКТР СТАНЦИЯСЫ ЖӘНЕ ФОТОЭЛЕКТРЛІК ЖҮЙЕЛЕРІ (PV) БАР МИКРОЖЕЛІНІ LC-СҮЗГІ АРҚЫЛЫ БАСҚАРУ МӘСЕЛЕСІНЕ _____	68-78
МАЗМҰНЫ _____	79-81

CONTENT

Y.K. ABDRAZAKH, A.S. BAIMAKHANOVA, N.M. ZHUNISOV, Sh.A. MIRZALIEVA A HYBRID COMPUTER VISION-BASED SYSTEM FOR EXERCISE RECOGNITION, REP COUNTING, AND CALORIE BURN ESTIMATION _____	5-30
B.O. BAYMURZAEV, S.K. DAULETBЕКOVA COMPARATIVE ANALYSIS OF THE ROLE OF ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN THE TRAINING OF SPECIALISTS IN THE IT FIELD _____	31-41
Z.K. ABDIKULOVA, G.A. SHUKENOVA, G.SH. RYSBEKOVA AUTOMATION OF THE SYSTEM OF ASSESSMENT OF EDUCATIONAL ACHIEVEMENTS OF STUDENTS _____	42-54
E.N. RUSTAMOV, K.B. AMIRTAYEV FRACTAL CYBERNETIC KNOWLEDGE MODEL _____	55-67
N.T. RUSTAMOV, Sh.A. BABAKHAN ON THE ISSUE OF MICROGRID CONTROL WITH WIND ENERGY SYSTEMS AND PV USING AN LC FILTER _____	68-78
CONTENT _____	79-81

СОДЕРЖАНИЕ

Ы.Қ. АБДРАЗАХ, А.С. БАЙМАХАНОВА, Н.М. ЖУНИСОВ, Ш.А. МИРЗАЛИЕВА ГИБРИДНАЯ СИСТЕМА РАСПОЗНАВАНИЯ УПРАЖНЕНИЙ, ПОДСЧЕТА ПОВТОРЕНИЙ И ОЦЕНКИ РАСХОДА КАЛОРИЙ НА ОСНОВЕ КОМПЬЮТЕРНОГО ЗРЕНИЯ _____	5-30
Б.О. БАЙМУРЗАЕВ, С.Қ. ДАУЛЕТБЕКОВА СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ РОЛИ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА В ПОДГОТОВКЕ СПЕЦИАЛИСТОВ В ОБЛАСТИ IT _____	31-41
З.К. АБДИКУЛОВА, Г.А. ШУКЕНОВА, Г.Ш. РЫСБЕКОВА АВТОМАТИЗАЦИЯ СИСТЕМЫ ОЦЕНКИ УЧЕБНЫХ ДОСТИЖЕНИЙ ОБУЧАЮЩИХСЯ _____	42-54
Е.Н. РУСТАМОВ, К.Б. АМИРТАЕВ ФРАКТАЛЬНО КИБЕРНЕТИЧЕСКАЯ МОДЕЛЬ ЗНАНИЙ _____	55-67
Н.Т. РУСТАМОВ, Ш.А. БАБАХАН К ВОПРОСУ УПРАВЛЕНИЯ МИКРОСЕТЬЮ С ВЕТРОВЫМИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКИМИ УСТАНОВКАМИ И PV С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ LC-ФИЛЬТРА _____	68-78
СОДЕРЖАНИЕ _____	79-81

YASSAWI JOURNAL OF ENGINEERING SCIENCE

Редакцияның мекен-жайы:

*161200, Қазақстан Республикасы, Түркістан қаласы,
Б. Саттарханов даңғылы, 29В
Байланыс тетіктері: +7 701 234 8885, +7 775 323 2299*

E-mail: journal.engineering@ayu.edu.kz

Ғылыми редакторлар:

Жунисов Н.М.

Техникалық редактор: Абдразах Ы. Қ.

Жарияланған мақала авторларының пікірі редакция көзқарасын білдірмейді.

Мақала мазмұнына автор жауап береді.

Қолжазбалар өңделеді және авторларға қайтарылмайды.

Yassawi Journal of Engineering Science журналына жарияланған материалдарды сілтемесіз көшіріп басуға болмайды.

30.06.2026 ж. баспаға жіберілді

Журнал Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университетінің

«Тұран» баспаханасында көбейтілді.

Қағаздың пішімі: 70x100. Қағазы офсеттік А4.

Офсеттік басылым. Шартты баспа табағы 6.

Таралымы 110 дана. Тапсырыс 145.