

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

А.Е. СҰЛТАНӘЛІ¹, Г.Н. КАЗБЕКОВА²

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

¹ E-mail: aigerim.sultanali@ayu.edu.kz*

² E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz

БІЛІМ АЛУШЫЛАРДЫҢ ОҚУ ҮЛГЕРІМІНЕ ӘСЕР ЕТЕТІН ФАКТОРЛАРДЫ МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІМЕН ТАЛДАУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ

Аңдатпа. Зерттеудің мақсаты білім алушылардың қорытынды оқу нәтижесіне әсер ететін негізгі академиялық және оқу мінез-құлық факторларын анықтау және машиналық оқыту әдістерінің көмегімен қорытынды емтихан бағасын болжау дәлдігін салыстырмалы бағалау болып табылады. Экспериментте 2000 білім алушы туралы жазбадан тұратын ашық деректер жиыны пайдаланылды. Кіріс белгілері ретінде сабаққа қатысу, бірінші және екінші аралық тест нәтижелері, тапсырма бағасы және күнделікті оқу уақыты алынды, ал мақсатты айнымалы ретінде 100 балдық шкаладағы қорытынды емтихан бағасы таңдалды. Деректерде бос мәндер анықталмады, студент идентификаторы модельдеуге енгізілмеді. Linear Regression, Decision Tree, Random Forest және Gradient Boosting регрессиялық модельдері 80/20 оқыту-тестілеу бөлуі арқылы салыстырылды. Модельдер MAE, RMSE және R^2 көрсеткіштерімен бағаланды және нәтижелер 5-қабатты кросс-валидациямен тексерілді. Linear Regression тест жиынында $R^2=0.830$, MAE=3.675 және RMSE=4.618 нәтижелерін көрсетіп, зерттелген модельдердің ішіндегі ең жоғары болжамдық сапаға қол жеткізді. Кросс-валидациядағы орташа R^2 0.836 ± 0.008 болды. Корреляциялық талдау сабаққа қатысудың қорытынды бағамен ең жоғары байланысын көрсетті ($r=0.726$), ал Random Forest бойынша оның маңыздылығы 41.49% болды. Алынған нәтижелер салыстырмалы түрде қарапайым және интерпретацияланатын модельдердің білім беру деректерінде тиімді бола алатынын көрсетеді және ерте академиялық мониторинг жүйелерін әзірлеуге негіз бола алады.

Түйін сөздер: машиналық оқыту, оқу үлгерімі, білім алушы, академиялық болжау, білім беру деректері, регрессиялық модель, факторлық талдау.

А.Е. СУЛТАНАЛИ¹, Г.Н. КАЗБЕКОВА²

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

¹ E-mail: aigerim.sultanali@ayu.edu.kz*

² E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УСПЕВАЕМОСТЬ ОБУЧАЮЩИХСЯ, МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ

Аннотация. Цель исследования заключается в выявлении основных академических и поведенческих факторов, связанных с итоговой успеваемостью обучающихся, и сравнительной оценке точности методов машинного обучения при прогнозировании итоговой экзаменационной оценки. В эксперименте использован открытый набор данных, содержащий 2000 записей. В качестве входных признаков использованы посещаемость, результаты двух промежуточных тестов, оценка за задания и ежедневная

продолжительность самостоятельного обучения; целевой переменной выступила итоговая экзаменационная оценка по 100-балльной шкале. Пропущенные значения отсутствовали, идентификатор студента исключался из моделирования. Сравнивались Linear Regression, Decision Tree, Random Forest и Gradient Boosting при разделении данных 80/20. Качество оценивалось по MAE, RMSE и R^2 , устойчивость результатов дополнительно проверялась пятикратной кросс-валидацией. Linear Regression показала на тестовой выборке $R^2=0,830$, MAE=3,675 и RMSE=4,618, превзойдя более сложные ансамблевые модели. Среднее значение R^2 при кросс-валидации составило $0,836\pm0,008$. Наиболее сильная корреляция с итоговой оценкой выявлена для посещаемости ($r=0,726$), а ее важность в Random Forest составила 41,49%. Результаты подтверждают целесообразность применения интерпретируемых моделей для анализа образовательных данных и поддержки раннего академического мониторинга.

Ключевые слова: машинное обучение, академическая успеваемость, обучающийся, прогнозирование, образовательные данные, регрессия, анализ факторов.

A.Ye. SULTANALI¹, G.N. KAZBEKOVA²

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

¹ E-mail: aigerim.sultanali@ayu.edu.kz*

² E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz

ANALYSIS AND PREDICTION OF FACTORS AFFECTING STUDENT ACADEMIC PERFORMANCE USING MACHINE LEARNING METHODS

Abstract. This study aims to identify the main academic and learning-behaviour factors associated with students' final academic outcomes and to compare machine learning methods for predicting final examination marks. An open dataset containing 2,000 student records was used. Attendance, two internal test scores, assignment score, and daily study hours were selected as predictors, while the final examination mark on a 100-point scale was used as the target variable. No missing values were detected, and Student_ID was excluded because it does not represent an educational characteristic. Linear Regression, Decision Tree, Random Forest, and Gradient Boosting regression models were compared using an 80/20 train-test split. Predictive performance was evaluated with mean absolute error (MAE), root mean squared error (RMSE), and coefficient of determination (R^2), and robustness was additionally assessed using five-fold cross-validation. Linear Regression achieved the best test performance with $R^2=0.830$, MAE=3.675, and RMSE=4.618. Its mean cross-validated R^2 was 0.836 ± 0.008 . Pearson correlation analysis showed that attendance had the strongest relationship with final examination marks ($r=0.726$). Random Forest feature importance also ranked attendance first, with an importance of 41.49%. The results demonstrate that a relatively simple and interpretable regression model can outperform more complex tree-based models on this dataset. The proposed experimental workflow can support data-driven academic monitoring and provide a reproducible basis for further development of intelligent student assessment systems.

Keywords: machine learning, academic performance, student, performance prediction, educational data, regression model, factor analysis.

ҚЫСҚАША

Білім беру жүйелерінің цифрлануы білім алушының оқу әрекеті туралы құрылымдалған деректер көлемін арттырып, оларды академиялық шешім қабылдауда пайдалануға мүмкіндік берді. Educational Data Mining және Learning Analytics бағыттарында машиналық оқыту әдістері студенттің үлгерімін болжау, тәуекел тобын ерте анықтау және оқытуды дербестендіру үшін кеңінен қолданылады (Romero & Ventura, 2024). Мұндай тәсілдер

дәстүрлі қорытынды бағаға ғана сүйенбей, оқу барысындағы бірнеше көрсеткіштің бірлескен ықпалын талдауға мүмкіндік береді.

Соңғы зерттеулерде студент үлгерімін болжау үшін сызықтық модельдер, шешім ағаштары, Random Forest, Gradient Boosting, нейрондық желілер және гибриді ансамбльдер қолданылуда (Abougalala et al., 2025; Baashar et al., 2022; Chen & Ding, 2023; Hegazi et al., 2023; Huynh-Cam et al., 2022; Ji et al., 2024; C. Liu et al., 2022; Nnamoko et al., 2025; Olabanjo et al., 2022; Pallathadka et al., 2022; Poudyal et al., 2022). Zhao et al. (2023) машиналық оқыту негізінде академиялық нәтижелерді сандық талдау білім сапасын бағалауда маңызды екенін көрсетсе, Guanin-Fajardo et al. (2024) жоғары білімдегі академиялық табысты бірнеше ML әдісімен болжаған. Онлайн ортадағы мінез-құлық деректерінің де болжамдық мәні бар екені clickstream және оқу белсенділігіне негізделген зерттеулерде көрсетілген (Y. Liu et al., 2023; Wen & Juan, 2023).

Сонымен бірге күрделі модельдің қолданылуы автоматты түрде жоғары дәлдікке кепілдік бермейді. Нәтиже деректер құрылымына, белгілердің табиғатына және мақсатты айнымалының байланыс сипатына тәуелді. Сондықтан бір деректер жиынында әртүрлі күрделіліктегі алгоритмдерді бірыңғай эксперименттік хаттамамен салыстыру және нәтижені интерпретациялау маңызды. Әсіресе білім беру саласында болжамның түсіндірмелілігі педагогке немесе әкімшілікке қандай фактордың нәтижеге көбірек әсер ететінін түсінуге көмектеседі (Borna et al., 2024; Jin, 2026).

Осы зерттеудің мақсаты – сабаққа қатысу, аралық тест нәтижелері, тапсырма бағасы және күнделікті оқу уақыты негізінде қорытынды емтихан нәтижесін болжау және төрт регрессиялық модельдің тиімділігін салыстыру. Зерттеу міндеттері: деректердің сапасын тексеру; факторлар мен қорытынды баға арасындағы корреляцияны бағалау; Linear Regression, Decision Tree, Random Forest және Gradient Boosting модельдерін оқыту; MAE, RMSE және R^2 арқылы салыстыру; 5-fold cross-validation көмегімен тұрақтылығын тексеру; Random Forest негізінде белгілер маңыздылығын талдау.

ЗЕРТТЕУ МАТЕРИАЛДАРЫ МЕН ӘДІСТЕРІ

Эксперименттік зерттеу үшін Kaggle платформасынан алынған Student Academic Performance типіндегі ашық CSV деректер жиыны пайдаланылды. Файлда 2000 бақылау және 7 баған бар. Бос мәндер анықталған жоқ. Student_ID тек бірегей идентификатор болғандықтан, болжамдық модельдерге енгізілген жоқ. Модельдің мақсатты айнымалысы Final Exam Marks (out of 100) болды. Деректер жиынының құрылымы 1-кестеде берілген.

Кесте 1. Экспериментте пайдаланылған белгілердің сипаттамасы.

Белгі	Мазмұны	Рөлі
Attendance (%)	Сабаққа қатысу, %	Кіріс
Internal Test 1 (out of 40)	1-аралық тест, 40 балл	Кіріс
Internal Test 2 (out of 40)	2-аралық тест, 40 балл	Кіріс
Assignment Score (out of 10)	Тапсырма бағасы, 10 балл	Кіріс
Daily Study Hours	Күнделікті оқу уақыты	Кіріс
Final Exam Marks (out of 100)	Қорытынды емтихан, 100 балл	Мақсат

Деректер train_test_split процедурасымен 80% оқыту және 20% тест жиынына бөлінді; кездейсоқтықты қайталау үшін random_state=42 белгіленді. Нәтижесінде 1600 жазба модельдерді оқытуға, 400 жазба тәуелсіз тестілеуге пайдаланылды. Эксперимент Python ортасында pandas және scikit-learn кітапханалары арқылы орындалды. Салыстыруға Linear Regression, Decision Tree Regressor, Random Forest Regressor (100 ағаш) және Gradient Boosting Regressor алынды. Ағаштық модельдер үшін random_state=42 пайдаланылды.

Регрессиялық сапаны бағалау үшін орташа абсолюттік қате (MAE), орташа квадраттық қатенің түбірі (RMSE) және детерминация коэффициенті (R^2) қолданылды. MAE мен RMSE неғұрлым аз, ал R^2 бірлікке неғұрлым жақын болса, модельдің болжамдық сапасы соғұрлым

жоғары деп есептелді. Нәтиженің бір ғана train/test бөлінісіне тәуелді болмауын тексеру үшін деректер араластырылып, 5-қабатты KFold кросс-валидация жүргізілді.

Сызықтық регрессия моделі жалпы түрде келесі өрнекпен сипатталды:

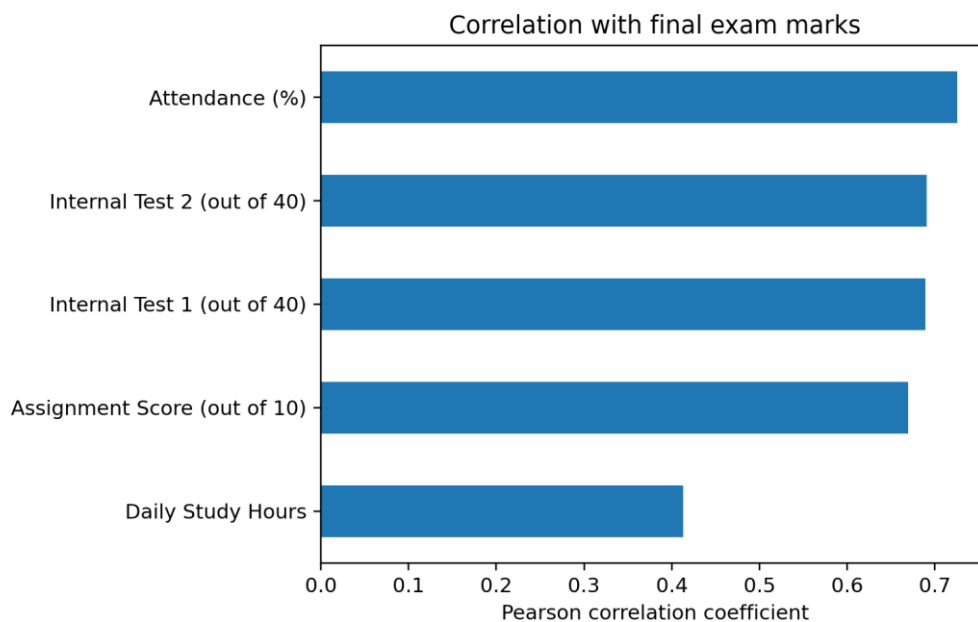
$$\hat{y} = \beta_0 + \beta_1 x_1 + \beta_2 x_2 + \beta_3 x_3 + \beta_4 x_4 + \beta_5 x_5, \quad (1)$$

мұнда $\hat{y}$ – болжанған қорытынды баға; x_1 – сабаққа қатысу; x_2 және x_3 – екі аралық тест; x_4 – тапсырма бағасы; x_5 – күнделікті оқу уақыты; $\beta_0 \dots \beta_5$ – модель параметрлері.

Факторлардың мақсатты айнымалымен сызықтық байланысын Pearson корреляция коэффициенті арқылы, ал сызықтық емес және өзара әрекеттесетін әсерлерді қосымша интерпретациялау үшін Random Forest feature importance көрсеткіші арқылы бағаладық. Мұндай салыстырмалы әдіс студент үлгерімін әртүрлі алгоритмдермен болжауға арналған қазіргі зерттеулердің тәжірибесіне сәйкес келеді (Holicza & Kiss, 2023; Tang et al., 2024; Zhao et al., 2023).

НӘТИЖЕЛЕР МЕН ТАЛҚЫЛАУ

Алдымен кіріс белгілерінің қорытынды емтихан бағасымен байланысы есептелді. Барлық бес белгі оң корреляция көрсетті. Ең жоғары коэффициент сабаққа қатысуда байқалды ($r=0.726$). Екінші және бірінші аралық тесттердің корреляциясы тиісінше 0.691 және 0.689 болды. Тапсырма бағасы үшін $r=0.669$, ал күнделікті оқу уақыты үшін $r=0.413$ алынды. Бұл деректерде жүйелі қатысу мен аралық бақылау нәтижелері қорытынды емтиханмен ең тығыз байланысты екенін көрсетеді (1-сурет).



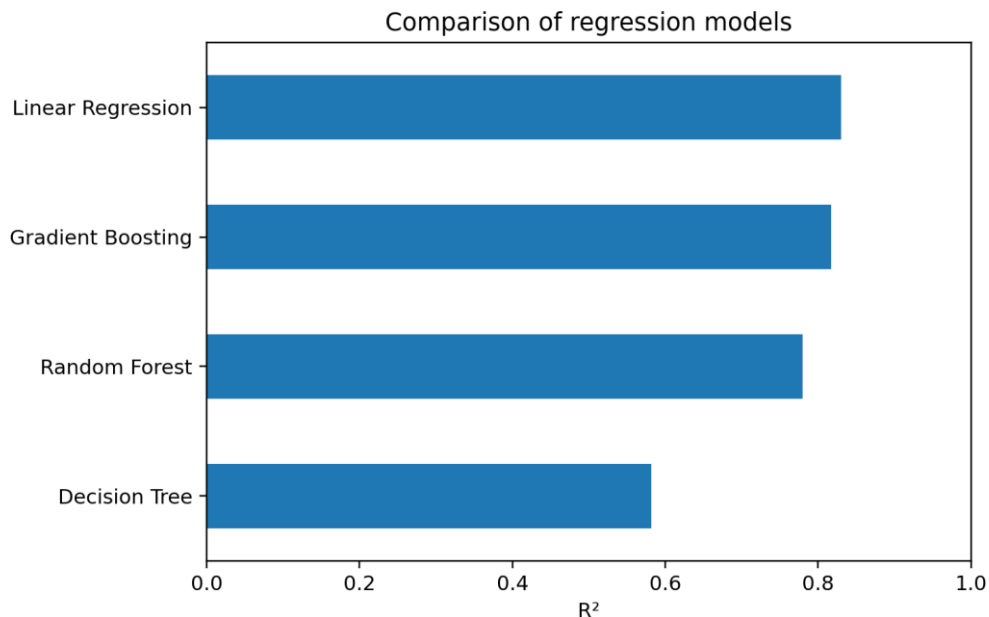
Сурет 1. Кіріс факторларының қорытынды емтихан бағасымен корреляциясы.

Төрт модель бірдей оқыту және тест жиындарында салыстырылды. Нәтижелер 2-кестеде және 2-суретте келтірілген. Linear Regression барлық үш негізгі метрика бойынша ең жақсы нәтиже көрсетті: MAE=3.675, RMSE=4.618 және $R^2=0.830$. Gradient Boosting нәтижесі оған жақын болғанымен ($R^2=0.817$), Random Forest және Decision Tree модельдерінде қате жоғары болды.

Кесте 2. Машиналық оқыту модельдерінің тест жиынындағы нәтижелері.

Модель	MAE	RMSE	R^2
Linear Regression	3.675	4.618	0.830

Модель	MAE	RMSE	R ²
Gradient Boosting	3.737	4.786	0.817
Random Forest	4.160	5.252	0.780
Decision Tree	5.747	7.235	0.582



Сурет 2. Регрессиялық модельдердің R² көрсеткіші бойынша салыстырылуы.

R²=0.830 нәтижесі таңдалған бес белгі арқылы тест жиынындағы қорытынды емтихан бағасының вариациясының шамамен 83%-ы модельмен түсіндірілетінін көрсетеді. MAE=3.675 болғандықтан, Linear Regression болжамы нақты қорытынды бағадан орта есеппен шамамен 3.7 баллға ауытқыды. Нақты және болжанған бағалардың таралуы 3-суретте көрсетілген; нүктелердің диагональға жақын орналасуы модель болжамдарының нақты мәндермен жалпы сәйкестігін визуалды түрде растайды.

Алынған нәтиженің кездейсоқ бөлініске тәуелділігін бағалау үшін 5-fold cross-validation жүргізілді. Linear Regression орташа R²=0.836±0.008 көрсетіп, қайтадан бірінші орын алды. Gradient Boosting үшін орташа R²=0.818, Random Forest үшін 0.790, Decision Tree үшін 0.617 болды (3-кесте). Төмен стандарттық ауытқу сызықтық модельдің әртүрлі деректер бөліктерінде тұрақты нәтиже беретінін көрсетеді.

Кесте 3. 5-fold cross-validation нәтижелері.

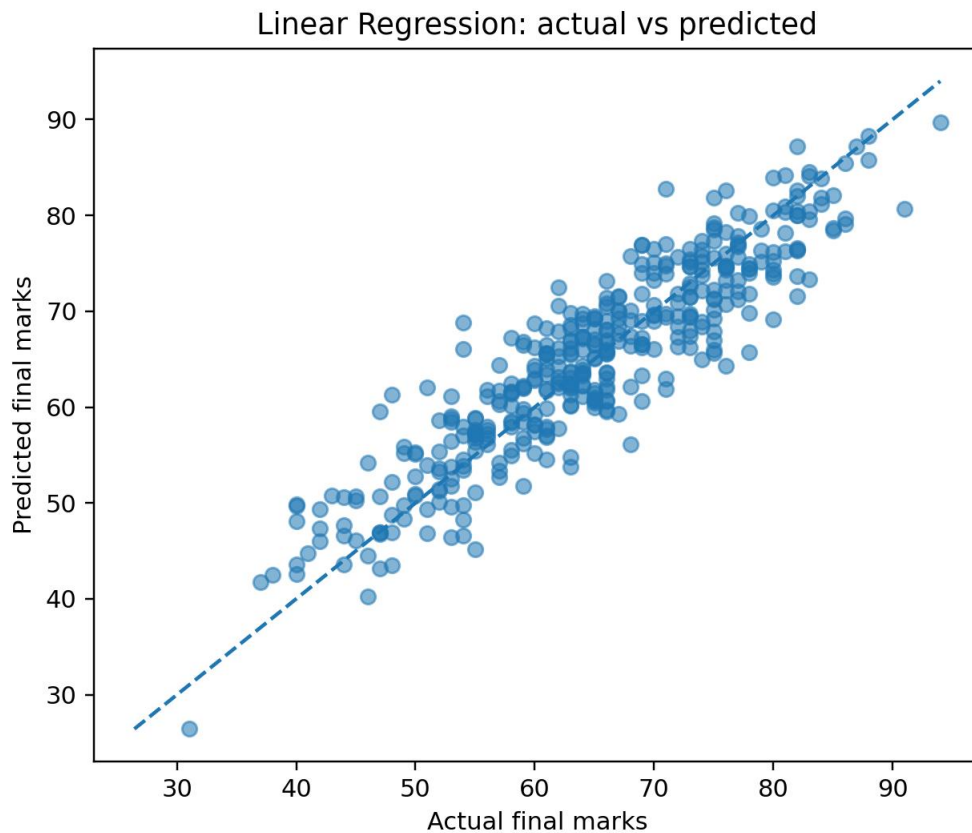
Модель	R ² орташа	SD	MAE	RMSE
Linear Regression	0.836	0.008	3.622	4.587
Gradient Boosting	0.818	0.005	3.823	4.831
Random Forest	0.790	0.007	4.086	5.186
Decision Tree	0.617	0.028	5.598	6.998

Linear Regression моделінің алынған коэффициенттері бойынша эксперименттік теңдеу төмендегідей болды:

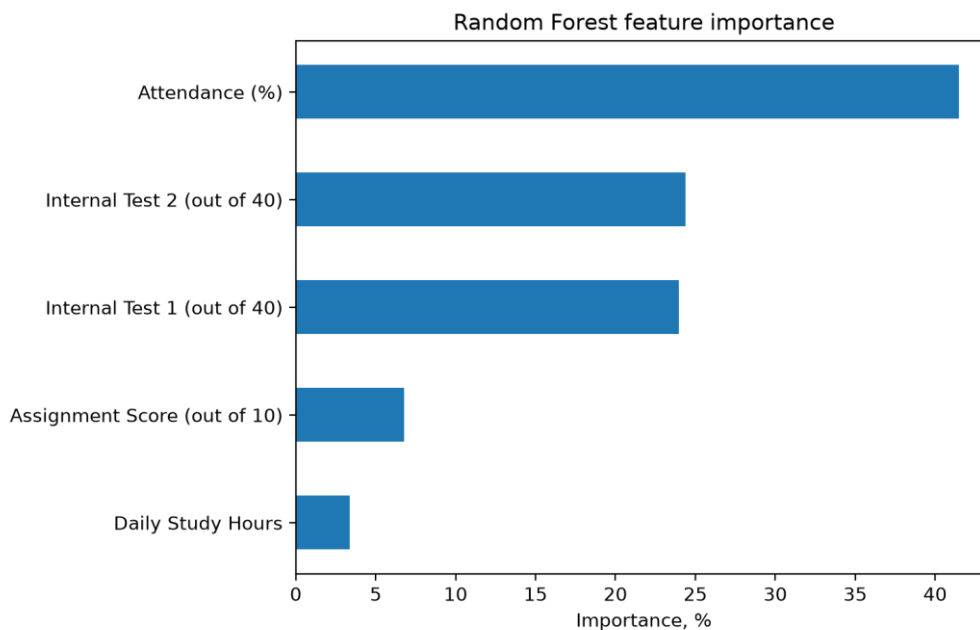
$$\begin{aligned} \text{Final Mark} = & -44.817 + 0.394 \cdot \text{Attendance} + 0.892 \cdot \text{Test1} + \\ & + 0.883 \cdot \text{Test2} + 1.450 \cdot \text{Assignment} + 2.866 \cdot \text{StudyHours}. \end{aligned} \quad (2)$$

Коэффициенттердің өлшем бірліктері әртүрлі болғандықтан, олардың абсолюттік шамаларын тікелей фактор маңыздылығы ретінде салыстыруға болмайды. Осы себепті

қосымша Random Forest feature importance талдауы жүргізілді. Нәтижесінде сабаққа қатысу 41.49% маңыздылықпен бірінші орын алды; Internal Test 2 – 24.39%, Internal Test 1 – 23.96%, Assignment Score – 6.79%, Daily Study Hours – 3.37% (4-сұрет).



Сурет 3. Linear Regression моделі үшін нақты және болжанған қорытынды бағалардың салыстырылуы.



Сурет 4. Random Forest моделі бойынша факторлардың салыстырмалы маңыздылығы.

Корреляциялық талдау мен Random Forest маңыздылығының бір бағытты нәтиже беруі сабаққа қатысудың осы деректер жиынында маңызды болжамдық белгі екенін көрсетеді.

Дегенмен бұл байланыс себеп-салдарлық әсер ретінде түсіндірілмеуі тиіс: қолданылған деректер бақылаулық сипатта, ал модельдер ассоциациялар мен болжамдық заңдылықтарды анықтайды.

Біздің экспериментте Linear Regression-ның күрделірек ағаштық ансамбльдерден жоғары нәтиже көрсетуі деректердегі негізгі байланыстардың елеулі бөлігі сызықтық компонентпен сипатталатынын болжауға мүмкіндік береді. Бұл қорытынды күрделі модель әрдайым тиімді деген түсінікті шектейді және алгоритм таңдауда эмпирикалық салыстыру қажеттігін көрсетеді. Әдебиетте де әртүрлі деректер жиындары үшін оңтайлы алгоритмдердің өзгеретіні байқалады: кейбір жұмыстар ансамбльдік және нейрондық модельдердің артықшылығын көрсетсе (Tang et al., 2024; Xue & Niu, 2023; Yu & Liu, 2022), басқа зерттеулер интерпретацияланатын белгілер мен классикалық ML әдістерінің практикалық құндылығына назар аударады (Guanin-Fajardo et al., 2024; Jin, 2026).

Практикалық тұрғыдан модельді оқу процесінің аралық кезеңінде академиялық мониторинг құралы ретінде қолдануға болады. Сабаққа қатысу мен екі аралық тест нәтижелері қорытынды бағамен жоғары байланыс көрсеткендіктен, осы белгілер төмендеген кезде білім алушыға қосымша қолдау ұсыну сценарийін қарастыруға болады. Алайда автоматтандырылған болжам студентке қорытынды баға қоюдың жалғыз негізі болмауы керек; ол педагогтің шешімін қолдайтын қосымша аналитикалық құрал ретінде пайдаланылуы тиіс.

Зерттеудің шектеулері де бар. Біріншіден, ашық деректер жиынының контексті нақты университеттің оқу процесін толық бейнелемеуі мүмкін. Екіншіден, деректерде пән күрделілігі, оқытушы ерекшелігі, алдыңғы GPA, әлеуметтік және мотивациялық факторлар жоқ. Үшіншіден, модель сыртқы тәуелсіз университет деректерінде тексерілген жоқ. Болашақ зерттеуде нақты LMS деректерімен сыртқы валидация жүргізіп, түсіндірілетін AI әдістерін және объективті бағалау моделіне интеграциялау мүмкіндігін зерттеу орынды.

Алынған эксперименттік нәтижелерді талдау барысында модель күрделілігінің жоғары болуы әрқашан болжам сапасының артуына алып келмейтіні анықталды. Зерттеуде Linear Regression моделінің ансамбльдік және ағаш негізіндегі алгоритмдермен салыстырғанда жоғары нәтиже көрсетуі қарастырылған деректер жиынындағы кіріс белгілері мен қорытынды емтихан бағасы арасында айқын сызықтық тәуелділіктің бар екенін көрсетеді. Атап айтқанда, Linear Regression моделінің R^2 көрсеткіші 0.830 деңгейіне жетіп, Gradient Boosting (0.817), Random Forest (0.780) және Decision Tree (0.582) нәтижелерінен жоғары болды. Сонымен қатар MAE=3.675 болуы модель болжаған қорытынды бағаның нақты бағадан орта есеппен шамамен 3.7 баллға ғана ауытқитынын көрсетеді. Білім алушылардың нәтижелері 100 балдық шкалада бағаланатынын ескерсек, мұндай ауытқу зерттелген деректер үшін модельдің жеткілікті болжамдық қабілетін сипаттайды.

Эксперимент барысында анықталған тағы бір маңызды ерекшелік – академиялық көрсеткіштердің оқу нәтижесіне әсер ету деңгейінің біркелкі болмауы. Корреляциялық талдау бойынша сабаққа қатысу көрсеткіші қорытынды емтихан нәтижесімен ең жоғары оң байланысты көрсетті ($r=0.726$). Бірінші және екінші аралық тест нәтижелері де қорытынды бағамен жоғары байланысқа ие болды. Бұл білім алушының оқу нәтижесін болжау кезінде тек бір бақылау көрсеткішіне сүйенудің орнына бірнеше академиялық факторды бірге қарастыру қажеттігін көрсетеді. Сонымен қатар күнделікті оқу уақытының корреляция коэффициенті басқа көрсеткіштермен салыстырғанда төмен болғанымен ($r=0.413$), оның оң мәні жүйелі өзіндік дайындықтың қорытынды нәтижемен байланысты екенін көрсетеді.

Зерттеу нәтижелерінің практикалық маңыздылығы машиналық оқыту моделін білім беру үдерісінде ерте академиялық мониторинг құралы ретінде пайдалану мүмкіндігімен байланысты. Семестр барысында жинақталатын сабаққа қатысу, аралық бақылау және тапсырма нәтижелері негізінде білім алушының ықтимал қорытынды нәтижесін алдын ала бағалауға болады. Мұндай тәсіл төмен нәтиже көрсету қаупі бар білім алушыларды қорытынды емтиханға дейін анықтап, оларға қосымша оқу материалдарын, консультацияларды немесе жеке қолдау шараларын ұсынуға мүмкіндік береді.

Сонымен бірге ұсынылған тәсілді білім алушыға қорытынды бағаны автоматты түрде тағайындайтын жүйе ретінде қарастыру дұрыс емес. Машиналық оқыту нәтижесі оқытушының кәсіби бағалауын алмастырмай, шешім қабылдауды қолдайтын қосымша аналитикалық құрал қызметін атқаруы тиіс. Болашақ зерттеулерде модельге білім алушының оқу платформасындағы белсенділігі, тапсырмаларды орындау тұрақтылығы, білім деңгейінің уақыт бойынша өзгеруі және басқа да академиялық көрсеткіштерді енгізу арқылы болжамның сенімділігі мен объективтілігін одан әрі зерттеу жоспарланады.

ҚОРЫТЫНДЫ

Зерттеуде 2000 білім алушының деректері негізінде қорытынды емтихан нәтижесін болжауға арналған төрт машиналық оқыту алгоритмі салыстырылды. Кіріс белгілері ретінде сабаққа қатысу, екі аралық тест, тапсырма бағасы және күнделікті оқу уақыты қолданылды. Эксперимент бірыңғай 80/20 train-test бөлінісі және 5-fold cross-validation арқылы жүргізілді.

Linear Regression тест жиынында $R^2=0.830$, $MAE=3.675$ және $RMSE=4.618$ көрсетіп, Gradient Boosting, Random Forest және Decision Tree модельдерінен жоғары нәтиже берді. Кросс-валидацияда оның орташа R^2 көрсеткіші 0.836 ± 0.008 болды, бұл модель нәтижесінің тұрақтылығын растады.

Факторлық талдау бойынша сабаққа қатысу қорытынды емтихан бағасымен ең жоғары корреляцияны көрсетті ($r=0.726$) және Random Forest feature importance бойынша 41.49% үлеспен бірінші орын алды. Осылайша, зерттеудің практикалық нәтижесі – салыстырмалы түрде қарапайым, түсіндірілетін регрессиялық модель арқылы оқу нәтижесін жеткілікті дәл болжауға және негізгі академиялық факторларды айқындауға болатындығы.

Алынған модель білім алушылардың оқу динамикасын ерте бақылауға арналған интеллектуалды жүйелердің аналитикалық компоненті ретінде қолданылуы мүмкін. Кейінгі зерттеулерде нақты жоғары оқу орнының LMS және бағалау деректерімен модельді тексеру, қосымша мінез-құлық белгілерін енгізу және болжам нәтижесін объективті бағалау моделіне біріктіру жоспарланады.

ҚАРЖЫЛАНДЫРУ: Зерттеу арнайы гранттық қаржыландырусыз орындалды.

ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ТЕХНОЛОГИЯЛАРЫН ПАЙДАЛАНУ ТУРАЛЫ ХАБАРЛАМА: Қолжазбаны дайындау барысында генеративті жасанды интеллект ChatGPT (OpenAI, 2026) мәтінді құрылымдау, тілдік редакциялау және эксперимент нәтижелерін түсіндіруге көмекші құрал ретінде қолданылды. Деректерді өңдеу мен машиналық оқыту экспериментінің сандық нәтижелері бағдарламалық есептеулер арқылы тексерілді. Автор(лар) қолжазбаның мазмұны мен ғылыми тұжырымдары үшін толық жауапкершілікті сақтайды.

ПАЙДАЛАНЫЛҒАН ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

Abougalala, R. A., Alharbi, N., Amasha, M. A., Areed, M. F., Alkhalaf, S., & Khairy, D. (2025). Predicting student performance academic using Automated Machine Learning (AutoML): In medical academic institutions. *Journal of New Approaches in Educational Research*, 14(1), Article 19. <https://doi.org/10.1007/s44322-025-00038-9>

Baashar, Y., Alkaws, G., Mustafa, A., Alkahtani, A. A., Alsariera, Y. A., Ali, A. Q., Hashim, W., & Tiong, S. K. (2022). Toward predicting student's academic performance using artificial neural networks (ANNs). *Applied Sciences*, 12(3), Article 1289. <https://doi.org/10.3390/app12031289>

Borna, M.-R., Saadat, H., Hojjati, A. T., & Akbari, E. (2024). Analyzing click data with AI: Implications for student performance prediction and learning assessment. *Frontiers in Education*, 9, Article 1421479. <https://doi.org/10.3389/educ.2024.1421479>

- Chen, S., & Ding, Y. (2023). A machine learning approach to predicting academic performance in Pennsylvania's schools. *Social Sciences*, 12(3), Article 118. <https://doi.org/10.3390/socsci12030118>
- Guanin-Fajardo, J. H., Guaña-Moya, J., & Casillas, J. (2024). Predicting academic success of college students using machine learning techniques. *Data*, 9(4), Article 60. <https://doi.org/10.3390/data9040060>
- Hegazi, M. O., Almaslukh, B., & Siddig, K. (2023). A fuzzy model for reasoning and predicting student's academic performance. *Applied Sciences*, 13(8), Article 5140. <https://doi.org/10.3390/app13085140>
- Holicza, B., & Kiss, A. (2023). Predicting and comparing students' online and offline academic performance using machine learning algorithms. *Behavioral Sciences*, 13(4), Article 289. <https://doi.org/10.3390/bs13040289>
- Huynh-Cam, T.-T., Chen, L.-S., & Huynh, K.-V. (2022). Learning performance of international students and students with disabilities: Early prediction and feature selection through educational data mining. *Big Data and Cognitive Computing*, 6(3), Article 94. <https://doi.org/10.3390/bdcc6030094>
- Ji, M., Le, J., Chen, B., & Li, Z. (2024). A predictive model for classifying college students' academic performance based on visual-spatial skills. *Frontiers in Psychology*, 15, Article 1434015. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2024.1434015>
- Jin, X. (2026). Predicting academic success: Machine learning analysis of student, parental, and school efforts. *Asia Pacific Education Review*, 27(1), 1–22. <https://doi.org/10.1007/s12564-023-09915-4>
- Liu, C., Wang, H., & Yuan, Z. (2022). A method for predicting the academic performances of college students based on education system data. *Mathematics*, 10(20), Article 3737. <https://doi.org/10.3390/math10203737>
- Liu, Y., Fan, S., Xu, S., Sajjanhar, A., Yeom, S., & Wei, Y. (2023). Predicting student performance using clickstream data and machine learning. *Education Sciences*, 13(1), Article 17. <https://doi.org/10.3390/educsci13010017>
- Nnamoko, N., Barrowclough, J., Onikoyi, B., & Liptrott, M. (2025). Predicting student academic outcome using online behavioural statistics and neighbourhood influences: A machine learning approach. *SN Computer Science*, 6(6), Article 661. <https://doi.org/10.1007/s42979-025-04189-6>
- Olabanjo, O. A., Wusu, A. S., & Manuel, M. (2022). A machine learning prediction of academic performance of secondary school students using radial basis function neural network. *Trends in Neuroscience and Education*, 29, Article 100190. <https://doi.org/10.1016/j.tine.2022.100190>
- OpenAI. (2026, August 12). *Assistance with manuscript structuring, language editing, and interpretation of machine-learning experiment results* [Large language model]. ChatGPT. <https://chatgpt.com/>
- Pallathadka, H., Sonia, B., Sanchez, D. T., De Vera, J. V., Godinez, J. A. T., & Pepito, M. T. (2022). Investigating the impact of artificial intelligence in education sector by predicting student performance. *Materials Today: Proceedings*, 51, 2264–2267. <https://doi.org/10.1016/j.matpr.2021.11.395>
- Poudyal, S., Mohammadi-Aragh, M. J., & Ball, J. E. (2022). Prediction of student academic performance using a hybrid 2D CNN model. *Electronics*, 11(7), Article 1005. <https://doi.org/10.3390/electronics11071005>
- Romero, C., & Ventura, S. (2024). *Educational data mining and learning analytics: An updated survey* (arXiv:2402.07956). arXiv. <https://doi.org/10.48550/arXiv.2402.07956>
- Tang, B., Li, S., & Zhao, C. (2024). Predicting the performance of students using deep ensemble learning. *Journal of Intelligence*, 12(12), Article 124. <https://doi.org/10.3390/jintelligence12120124>

Wen, X., & Juan, H. (2023). Early prediction of students' performance using a deep neural network based on online learning activity sequence. *Applied Sciences*, 13(15), Article 8933. <https://doi.org/10.3390/app13158933>

Xue, H., & Niu, Y. (2023). Multi-output based hybrid integrated models for student performance prediction. *Applied Sciences*, 13(9), Article 5384. <https://doi.org/10.3390/app13095384>

Yu, F., & Liu, X. (2022). Research on student performance prediction based on stacking fusion model. *Electronics*, 11(19), Article 3166. <https://doi.org/10.3390/electronics11193166>

Zhao, L., Ren, J., Zhang, L., & Zhao, H. (2023). Quantitative analysis and prediction of academic performance of students using machine learning. *Sustainability*, 15(16), Article 12531. <https://doi.org/10.3390/su151612531>

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	Сұлтанәлі Айгерім Ердалықызы – магистр, оқытушы, докторант, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Sultanali Aigerim Yerdalykyzy – магистр, преподаватель, докторант, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Sultanali Aigerim Yerdalykyzy – Master, Lecturer, Doctoral Student, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan E-mail: aigerim.sultanali@ayu.edu.kz ORCID: 0009-0008-6948-7271
2	Казбекова Гулнур Нагиметовна (ғылыми жетекші) – техника ғылымдарының кандидаты, қауымдастырылған профессор, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Казбекова Гулнур Нагиметовна (научный руководитель) – кандидат технических наук, ассоциированный профессор, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Kazbekova Gulnur Nagimetovna (scientific supervisor) – Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan E-mail: gulnur.kazbekova@ayu.edu.kz ORCID: 0000-0002-2756-7926

Б.А. АБДУВАХАПОВ¹, Н.М. ЖУНИСОВ², Ы.К. АБДРАЗАХ³

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

¹ E-mail: bekzotabdi@yandex.kz*

² E-mail: nurseit.zhunissov@ayu.edu.kz

³ E-mail: yntymak.abdrakh@ayu.edu.kz

ГЕНЕРАТИВНЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В УНИВЕРСИТЕТСКОМ ОБУЧЕНИИ И УСЛОВИЯ СОХРАНЕНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОСТИ СТУДЕНТОВ

Аннотация. Генеративный искусственный интеллект меняет повседневную учебную работу студентов. Объяснение или готовое решение теперь доступнее, но по этому ещё нельзя судить, насколько усвоен материал. В статье рассматривается, при каких условиях использование генеративного искусственного интеллекта в университете поддерживает обучение и сохраняет самостоятельную познавательную деятельность. Для ответа на этот вопрос выполнен критический аналитический обзор научных публикаций и официальных описаний образовательных функций цифровых сервисов. Сопоставлены экспериментальные результаты, данные об отношении студентов к технологии и ограничения автоматизированного контроля. Анализ показывает, что успешное выполнение задания с помощником, ощущение понимания и самостоятельное применение знания дают разные основания для оценки учебного результата. В предложенной аналитической схеме цель обращения к искусственному интеллекту связана с характером помощи и способом последующей проверки. Рассмотрены диалоговые помощники, работа с источниками и генерация учебных материалов. Для этих возможностей обсуждаются риски фактических ошибок, зависимости от готовых ответов и необоснованных выводов об уровне знаний. Анализ обосновывает сочетание доступной поддержки с самостоятельными и отсроченными заданиями. Практическим продолжением могла бы стать учебная среда с диагностикой освоения отдельных тем, отделённой от официального оценивания. Пока предложена её концепция. Система не внедрена, а педагогическую эффективность предстоит проверить эмпирически. Практическая значимость работы состоит в критериях организации и оценки ИИ-поддержки университетского обучения.

Ключевые слова: генеративный искусственный интеллект; высшее образование; самостоятельное обучение; педагогическая поддержка; учебная диагностика; академическая добросовестность.

Б.А. АБДУВАХАПОВ¹, Н.М. ЖУНИСОВ², Ы.К. АБДРАЗАХ³

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

¹ E-mail: bekzotabdi@yandex.kz*

² E-mail: nurseit.zhunissov@ayu.edu.kz

³ E-mail: yntymak.abdrakh@ayu.edu.kz

УНИВЕРСИТЕТТІК ОҚЫТУДАҒЫ ГЕНЕРАТИВТІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЖӘНЕ СТУДЕНТТЕРДІҢ ТАНЫМДЫҚ ДЕРБЕСТІГІН САҚТАУ ШАРТТАРЫ

Аңдатпа. Генеративті жасанды интеллекттің таралуы студенттердің күнделікті оқу әрекетін өзгертуде. Алайда түсіндірмелер мен дайын шешімдердің қолжетімді болуы оқу материалын меңгеру сапасын өздігінен дәлелдемейді. Мақаланың мақсаты университетте генеративті жасанды интеллектті қолдану оқуды қолдайтын және студенттің дербес танымдық әрекетін алмастырмайтын шарттарды анықтау болып табылады. Зерттеу ғылыми жарияланымдар мен цифрлық сервистердің білім беру функцияларына қатысты ресми сипаттамаларына сыни аналитикалық шолу түрінде жүргізілді. Эксперименттік зерттеулердің нәтижелері, студенттердің технологияға көзқарасы және автоматтандырылған бақылаудың шектеулері салыстырылды. Көмекиімен орындалған тапсырманың нәтижесі, тақырыпты түсінгенін субъективті сезіну және білімді өз бетінше қолдану қабілеті оқу нәтижесін бағалаудың әртүрлі негіздері екені көрсетілді. Жасанды интеллектке жүгіну мақсатын, ұсынылатын көмектің сипатын және кейінгі тексеру тәсілін байланыстыратын аналитикалық схема ұсынылды. Диалогтік көмекиілердің, дереккөздермен жұмыс істеу құралдарының және оқу материалдарын әзірлеу сервистерінің мүмкіндіктері қарастырылды. Сонымен бірге фактілік қателер, дайын жауаптарға тәуелділік және білім деңгейі туралы негізсіз қорытынды жасау тәуекелдері талданды. Қолжетімді қолдауды дербес және белгілі бір уақыттан кейін орындалатын тапсырмалармен ұштастыру қажеттілігі негізделді. Практикалық бағыт ретінде жекелеген тақырыптарды меңгеру диагностикасы ресми бағалаудан ажыратылған оқу ортасының тұжырымдамасы ұсынылады. Оның педагогикалық тиімділігі арнайы эмпирикалық зерттеуді қажет етеді. Жұмыстың практикалық маңызы университеттік оқытуда жасанды интеллект көмегін ұйымдастыру және бағалау өлшемдерін тұжырымдаумен байланысты.

Түйін сөздер: генеративті жасанды интеллект; жоғары білім; дербес оқу; педагогикалық қолдау; оқу диагностикасы; академиялық адалдық.

B.A. ABDUVAKHAROV¹, N.M. ZHUNISOV², Y.K. ABDRAZAKH³

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

¹ E-mail: bekzotabdi@yandex.kz*

² E-mail: nurseit.zhunissov@ayu.edu.kz

³ E-mail: yntymak.abdrakh@ayu.edu.kz

GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN UNIVERSITY LEARNING AND CONDITIONS FOR PRESERVING STUDENTS' COGNITIVE AUTONOMY

Abstract. Generative artificial intelligence is changing students' everyday academic work, yet access to explanations and ready-made solutions does not by itself demonstrate successful learning. This article identifies conditions under which generative AI can support university learning without replacing students' independent cognitive activity. A critical narrative review combines research publications with official descriptions of educational features offered by digital services. Experimental findings are distinguished from student perceptions and from claims about product functionality. The analysis differentiates performance with assistance, perceived understanding, and the ability to apply knowledge independently. It proposes an analytical framework connecting the purpose of AI use, the type of assistance provided, and the evidence required to assess learning. Conversational support, source-based study tools, and learning-material generation are considered alongside factual errors, dependence on completed solutions, and unsupported judgments about mastery. The article argues for combining accessible assistance with independent and delayed assessment tasks. A learning environment that records topic-specific evidence and separates formative diagnosis from official grading is outlined as a possible application. This proposal is conceptual rather than an implemented or validated system. Its educational effectiveness requires a

separate empirical investigation. The contribution is a set of practical criteria for designing and evaluating AI-supported university learning.

Keywords: *generative artificial intelligence; higher education; independent learning; instructional support; learning assessment; academic integrity.*

ВВЕДЕНИЕ

Студент может получить развёрнутый ответ на учебный вопрос раньше, чем успеет сформулировать собственное объяснение. Эта возможность заметно меняет условия самостоятельной работы в университете. Раньше затруднение требовало обращения к учебнику, преподавателю или однокурснику; теперь достаточно описать проблему в диалоге с цифровым помощником. Удобство такого взаимодействия очевидно, но его педагогический результат неоднозначен. Один студент использует объяснение, чтобы продолжить рассуждение, другой переносит готовое решение в работу, почти не разбираясь в его основаниях.

Генеративный искусственный интеллект рассматривается в настоящей статье прежде всего как средство взаимодействия с учебным содержанием. Он позволяет переформулировать объяснение, подобрать пример, обсудить ошибку, подготовить вопросы для самопроверки и организовать поиск материалов. Ранние обзоры описали широкий круг подобных применений. В них же отмечались недостоверные ответы и трудности включения ИИ в существующее оценивание (Kasnesi et al., 2023; Lo, 2023). Поэтому наличие технической функции нельзя непосредственно приравнивать к образовательному преимуществу: между ними находится конкретная деятельность студента.

Для университета проблема не сводится к разрешению или запрету отдельных сервисов. Один и тот же инструмент может использоваться при освоении новой темы, подготовке черновика, выполнении тренировочного задания и сдаче контрольной работы. Требования к самостоятельности в этих ситуациях различаются. Если правила не уточняют цель задания, преподаватель оценивает текст или решение, происхождение которого не раскрывает вклад обучающегося. Одновременно студент может отказаться от полезной помощи из опасения, что любое обращение к ИИ будет признано нарушением.

Цель исследования — определить условия применения генеративного ИИ в университетском обучении, позволяющие сочетать доступную педагогическую поддержку с сохранением познавательной самостоятельности. Для достижения цели сопоставляются результаты исследований, разграничиваются основные учебные сценарии, рассматриваются возможности цифровых сервисов и предлагаются критерии проверки освоения материала. Исследовательский вопрос сформулирован следующим образом: какие признаки организации ИИ-поддержки позволяют отличить помощь в обучении от замещения учебной деятельности?

Исходное положение работы состоит в том, что качество итогового продукта, полученного с помощником, не является достаточным свидетельством индивидуального знания. Это положение рассматривается через сопоставление опубликованных данных, а не проверяется на собственной студенческой выборке. Авторский вклад заключается в объединении трёх оснований анализа: цели обращения за помощью, характера действия, остающегося за студентом, и способа независимого подтверждения результата. Такое объединение позволяет обсуждать университетское применение ИИ без предположения об одинаковых правилах оценивания во всех дисциплинах.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Исследование построено как критический аналитический обзор с элементами сравнительного анализа. Источники подбирали 16 сентября 2026 года: через целевой веб-поиск переходили к научным публикациям на страницах издателей и в авторских репозиториях. Рассматривались эксперименты с ИИ-репетиторами, обзоры применения ChatGPT в образовании, восприятие технологии студентами и надёжность детекторов ИИ-

текста. Для уточнения публикаций использовались их названия и DOI. Официальные материалы разработчиков подбирались отдельно по названиям учебных функций. Поиск не представлял собой сплошную выгрузку из Scopus или Web of Science.

В содержательную основу вошли десять научных статей 2023–2025 годов, руководство UNESCO и пять официальных материалов о цифровых сервисах. Запись об использованном при подготовке рукописи ИИ приведена отдельно и не включается в аналитическую базу. Приоритет отдавался публикациям, позволяющим установить дизайн исследования, контекст применения и характер оцениваемого результата. Отозванные работы не использовались для обоснования выводов. Документы производителей рассматривались как описание заявленных функций, но не как доказательство эффективности обучения.

При чтении источников выделялись пять характеристик: образовательный контекст, роль ИИ, действие студента, показатель результата и ограничение интерпретации. Для экспериментальных исследований отдельно учитывалось, оставался ли помощник доступным во время проверки. Опросные данные не смешивались с измерениями знаний. Сравнение цифровых сервисов строилось по учебной задаче и характеру взаимодействия, без присвоения рейтингов и баллов, для которых не проводилось независимое тестирование. Функции описываются в пределах подтверждённых официальных публикаций.

Численные результаты воспроизводятся из первоисточников с указанием их контекста. Собственный метаанализ не выполнялся: различия дисциплин, выборки, условий и шкал не позволяют механически объединить показатели. Относительные изменения успеваемости не трактуются как процентные пункты или доля освоенного материала. Представленный набор источников является целевым, а не исчерпывающим; поэтому обзор не претендует на оценку распространённости всех выявленных эффектов. Результатом анализа служат сравнительные таблицы и предлагаемая схема организации поддержки и диагностики.

АНАЛИЗ И РЕЗУЛЬТАТЫ

Учебная помощь и подмена самостоятельной работы

Первое различие между полезным и проблемным применением ИИ связано с тем, какое действие выполняет студент. Просьба объяснить непонятный термин оставляет за ним работу с содержанием. Просьба написать полный ответ на оцениваемый вопрос может эту работу устранить. Однако граница определяется не длиной ответа помощника. Развёрнутый разбор бывает необходим начинающему, тогда как короткая подсказка иногда содержит весь ключ к решению. Следовательно, оценивать следует функцию помощи в конкретном задании.

В качестве аналитического результата предлагается различать три режима взаимодействия: объяснение, совместную практику и самостоятельное подтверждение. В первом режиме допустимы подробные примеры и повторное изложение. Во втором помощь должна оставлять студенту содержательный следующий шаг. В третьем необходимо установить, что он может выполнить без текущего участия помощника. Если обнаружилась ошибка, студент возвращается к объяснению и затем вновь подтверждает освоение. Повторить показанный ответ для этого недостаточно. Переходы между режимами не заданы раз и навсегда; их связь показана на рисунке 1.

Обзоры образовательных чат-ботов описывают поддержку домашних заданий, персонализацию взаимодействия и помощь преподавателю, но одновременно подчёркивают проблемы точности и надёжности (Labadze et al., 2023). Для настоящего анализа существенно, что перечисленные возможности относятся к разным сторонам учебного процесса. Сокращение времени подготовки материалов полезно преподавателю, однако само по себе не показывает, насколько студент научился рассуждать. Экономия времени и результат обучения должны оцениваться отдельно, даже когда обеспечиваются одним сервисом.

Другая граница проходит между доступностью объяснения и его соответствием учебной задаче. Например, при изучении SQL помощник может предложить рабочий запрос

с оконной функцией, когда цель занятия — освоить группировку. Технически верный результат в таком случае не раскрывает владение изучаемым методом. Поэтому контекст курса должен включать не только условие, но и допустимые способы решения, предшествующие знания и цель упражнения. Эта настройка требует педагогического решения, которое нельзя заменить общим указанием «помогай студенту».

Объяснение сложной темы, обратная связь и помощь с письменной работой описаны в обзоре эмпирических исследований Albadarin et al. (2024). Его материал относится к раннему периоду распространения ChatGPT. Для сопоставления сценариев использования это полезная основа; считать её описанием неизменных свойств всех последующих моделей уже нельзя. В таблице 1 эти формы помощи сопоставлены с необходимыми способами проверки. Такое сопоставление составляет предложенную аналитическую схему и не представляет результатов эксперимента.

Поддержка обучения и подтверждение освоения

Предлагаемая схема • эффективность требует проверки

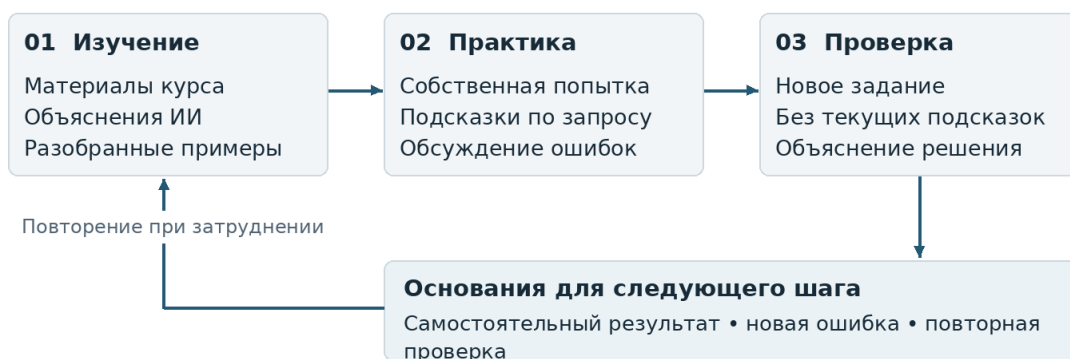


Рисунок 1. Предлагаемая схема обучения с ИИ-поддержкой и самостоятельной проверкой.
Составлено авторами.

Таблица 1. Формы ИИ-поддержки и основания проверки освоения.

Учебная ситуация	Допустимая помощь	Свидетельство освоения
Освоение понятия	Объяснение, аналогия, разобранный пример	Объяснение своими словами и применение в новом примере
Тренировочное задание	Разбор ошибки и последовательные подсказки	Самостоятельное выполнение изменённого задания
Работа с источниками	Поисковая подборка и предварительное обобщение	Проверка тезисов по первоисточникам
Подготовка к экзамену	Вопросы, карточки, объяснение затруднений	Новые задания без текущих подсказок и повторная проверка

Примечание. Составлено в рамках настоящего анализа; схема не проходила экспериментальную валидацию.

Студент может задавать много вопросов, потому что проверяет гипотезы. Короткий диалог тоже допускает разные объяснения, вплоть до простого копирования ответа. По количеству сообщений, длительности диалога и числу подсказок прямую шкалу незнания не построить. Эти сведения помогают описать работу и выбрать момент поддержки. Для понимания обращений за дополнительным объяснением остаётся сопоставить их с тем, как

студент действует в новых заданиях. Иначе система будет поощрять внешнюю самостоятельность и наказывать открытое обсуждение затруднений.

Что показывают количественные исследования

Опубликованные результаты позволяют увидеть различие между продуктивностью с ИИ и обучением. В школьном эксперименте по математике Bastani et al. (2025) показатели выполнения тренировочных заданий выросли относительно контроля на 48% при использовании GPT Base и на 127% при использовании GPT Tutor. Однако после отключения помощи результат группы GPT Base оказался на 17% ниже контрольного. Вариант с педагогическими ограничениями существенно смягчил отрицательный эффект. Объединять приведённые величины в один показатель «пользы ИИ» нельзя: они относятся к разным условиям проверки.

Иной результат представлен в университетском эксперименте Kestin et al. (2025): медиана результата итогового теста составила 4,5 в условии ИИ-репетитора и 3,5 в условии активного аудиторного обучения. Эксперимент проводился со специально разработанным инструментом в ограниченном учебном контексте. Его результат не характеризует свободное использование любого чат-бота. Разницу в один балл нельзя переносить на стобалльную университетскую шкалу. Оба исследования приведены в таблице 2 вместе с опросом студентов, измерявшим другой тип результата.

Таблица 2. Количественные результаты и границы их интерпретации.

Исследование	Опубликованный результат	Что он характеризует
Bastani et al. (2025) Школьная математика	Тренировка: +48% для GPT Base, +127% для GPT Tutor; без помощи: -17% для GPT Base относительно контроля	Различие между выполнением с ИИ и самостоятельной проверкой; не прямой эффект для вузов
Kestin et al. (2025) Университетская физика	Медиана итогового теста: 4,5 с ИИ-репетитором и 3,5 в условии активного занятия	Результат конкретного учебного эксперимента; не универсальный рейтинг технологий
Chan & Hu (2023) Опрос 399 студентов	66,7% сообщили об опыте использования генеративного ИИ в общем контексте	Опыт опрошенных, а не рост знаний или успеваемости

Примечание. Данные первоисточников; проценты у Bastani et al. — относительные изменения, не процентные пункты. Между исследованиями показатели не усреднялись.

Другую сторону показывает опрос Chan and Hu (2023), в котором участвовали 399 студентов бакалавриата и последипломных программ шести университетов Гонконга. Хотя бы однажды использовали генеративный ИИ в общем контексте 66,7% участников. В целом отношение к технологии было положительным, но сохранялись опасения относительно достоверности, приватности и личного развития. Здесь описаны опыт и восприятие студентов. Из этих ответов нельзя узнать, у какой доли выросла успеваемость. Оценивать по ним распространённость использования ИИ в университетах Казахстана также нельзя.

Даже без помощника проверки измеряют разное. Немедленный тест показывает результат сразу после обучения. Чтобы узнать, что сохранилось позже, нужно отсроченное задание; перенос способа действия проверяют в изменённых условиях. Если измерен только немедленный результат, говорить о долгосрочном владении темой рано. Какое изменение должна дать ИИ-поддержка, в университете следует определить заранее.

Удобство помощника имеет самостоятельное значение: студент может охотнее задавать вопросы. Лёгкость работы ещё не показывает, что материал усвоен. Бывает и наоборот: необходимость объяснить ход решения усложняет занятие, хотя соответствует его

образовательной цели. Предлагаемая схема учитывает и впечатление студента, и самостоятельный результат. Если они расходятся, нужно разобраться в причинах, а не оставлять только выгодный для технологии показатель.

Возможности цифровых сервисов в университетском обучении

При сопоставлении сервисов возникают пересечения: один инструмент может поддерживать несколько учебных сценариев. В анализе различаются диалоговое объяснение, работа с заданным корпусом материалов и поисковое исследование. Примеры функций, подтверждённых официальными публикациями, собраны в таблице 3. За сходными функциями могут стоять разные модели и способы организации взаимодействия. Таблица помогает сопоставить функции, но оснований выбрать лучший продукт не даёт. Независимое сравнительное испытание качества ответов не проводилось.

Таблица 3. Примеры сервисов и учебных сценариев.

Сервис и источник	Описанная функция	Предлагаемое учебное применение
ChatGPT OpenAI (2025)	Study mode: вопросы и пошаговое сопровождение	Разбор затруднения с последующей самостоятельной задачей
Claude Anthropic (2025)	Learning mode: поддержка рассуждения	Обсуждение аргументов и объяснение выбора
Gemini Google (2025b)	Guided Learning: направляемое изучение	Пояснение темы и проверочные вопросы
NotebookLM Google (2025a)	Карточки и вопросы по документам	Повторение материала курса с обращением к источнику
Perplexity Perplexity (2025)	Deep Research: исследовательский поиск и обобщение	Предварительная подборка с самостоятельной проверкой публикаций

Примечание. Функции приведены по официальным материалам 2025 года. Сценарии предложены в настоящей работе; независимое испытание сервисов не проводилось.

OpenAI (2025) описывает Study mode как пошаговое сопровождение, а Anthropic (2025) связывает Learning mode с вопросами, развивающими рассуждение. Google (2025b) также заявляет направляемое изучение материала. Эти режимы интересны прежде всего возможностью изменить привычный запрос на готовый ответ. По описаниям принципы близки. Насколько близкими окажутся результаты, из этого ещё не ясно. Для выбора инструмента преподавателю нужна проверка на собственных заданиях, включая язык объяснения и устойчивость поведения помощника при просьбе немедленно выдать решение.

При повторении курса карточки и вопросы по загруженным документам позволяют опереться на его материалы вместо произвольного изложения темы (Google, 2025a). Но что сохраняется при сокращении текста? Условие применимости формулы или существенная оговорка могут исчезнуть. Краткий конспект стоит сопровождать доступом к исходному фрагменту, чтобы к нему можно было вернуться. Вопрос «где это сказано в лекции?» здесь не менее важен, чем вопрос «объясни проще».

Первоначально познакомиться с вопросом и подготовить список материалов помогают поисковые режимы, включая Deep Research (Perplexity, 2025). Полученный отчёт ещё не завершает обзор литературы. Предстоит проверить существование указанных работ, соответствие ссылок утверждениям и отличить первичные исследования от пересказов. В

этом есть и возможная учебная задача: студент сопоставляет несколько тезисов отчёта с первоисточниками, вносит исправления и объясняет их основания.

Объяснение на выбранном языке может быть понятным в бытовом смысле и всё же неточно передавать профессиональный термин. Для многоязычной аудитории это отдельный вопрос проверки. Один из возможных вариантов задания состоит в том, чтобы студент сравнил объяснение помощника с определением из материалов курса и указал различия. Такой сценарий допускает помощь в переводе, но оставляет за обучающимся решение о корректности содержания. Само наличие многоязычного интерфейса этой работы не отменяет.

Риски зависимости от готовых решений и недостоверного контроля

Главный педагогический риск возникает тогда, когда действие, которое студент должен освоить, регулярно выполняет система. Если цель задания — научиться строить аргумент, получение готового аргументированного текста сокращает необходимую практику. Тот же текст бывает полезен, если задача состоит в обсуждении и критике уже найденных аргументов. Риск нужно оценивать по тому, какую операцию передают ИИ и чему должно научить задание. Это не даёт оснований говорить о снижении интеллекта всех пользователей ИИ.

Второй риск связан с ошибками в содержании. Обзор Grassini (2023) рассматривает образовательные возможности технологии вместе с её последствиями и ограничениями. Для организации занятия из этого следует практический вопрос: кто и на каком этапе проверяет объяснение? Начинаящий студент не всегда способен обнаружить правдоподобную ошибку. Поэтому предложение «проверяйте ответы ИИ» недостаточно без доступного эталона, надёжного источника или возможности обратиться к преподавателю. Проверка должна быть частью задания, а не формальной оговоркой.

Третий риск возникает при переносе контроля с учебного действия на предполагаемое происхождение текста. Weber-Wulff et al. (2023) исследовали 12 общедоступных и два коммерческих инструмента обнаружения ИИ-текстов и выявили проблемы надёжности. Liang et al. (2023) показали ошибочную классификацию текстов авторов, для которых английский язык не является родным. Эти результаты относятся к исследованным инструментам и материалам; они не дают универсального процента ошибки для современных русскоязычных проверок. Однако их достаточно, чтобы не считать результат детектора самостоятельным доказательством нарушения.

Больше о владении собственной работой можно узнать, если студент объяснит выбор метода, восстановит промежуточный шаг, исправит предложенную ошибку или решит изменённое задание. Так появляются более содержательные свидетельства достижения учебной цели. Происхождение каждого предложения такая проверка не устанавливает. Заранее определив допустимую помощь и порядок её раскрытия, преподаватель получает возможность обсуждать работу по понятным правилам и продемонстрированным знаниям, без стилистических подозрений.

Отдельно следует учитывать приватность и неравный доступ. Руководство UNESCO предлагает человекоцентричный подход, в котором развитие возможностей технологии соотносится с самостоятельностью, включённостью и защитой участников обучения (Miao & Holmes, 2023). В практическом плане это означает, что обязательная работа не должна зависеть от личной платной подписки, а загрузка учебных материалов не должна автоматически включать персональные сведения однокурсников. Объём собираемых данных следует связывать с конкретной педагогической задачей, а не с технической возможностью сохранять весь диалог.

ОБСУЖДЕНИЕ

Условия педагогически обоснованного применения

На основании проведённого сопоставления предлагается оценивать применение ИИ через согласованность трёх решений. Сначала задаётся результат обучения: объяснить

понятие, выполнить операцию, обосновать выбор или перенести метод. Затем определяется допустимая помощь. Остаётся выбрать, каким действием студент подтвердит освоение независимо от уже полученного ответа. Проверка должна соответствовать цели конкретного занятия. Общих для всех университетов экзаменов или рейтинговых формул схема не требует.

При работе с программой студент может разобрать с помощником сообщение об ошибке. После этого он исправляет программу и проверяет её на новом тесте. Для письменного анализа ИИ можно поручить предложить несколько вариантов плана; студенту остаётся выбрать один и объяснить отказ от остальных. К экзамену можно готовиться, отвечая на вопросы помощника по материалам курса, а для итоговой самопроверки нужны задания с ещё не показанными ответами. Это примеры возможной организации работы, а не описание проведённого эксперимента.

Если студент ещё не владеет исходным понятием, серия наводящих вопросов может лишь продлить затруднения. Тогда полезно разобрать пример и предложить близкую задачу, постепенно уменьшая помощь. Принцип состоит не в том, чтобы никогда не показывать решение, а в том, чтобы после показа оставалась возможность проверить самостоятельное действие. Уровень поддержки должен зависеть от учебной ситуации, а не от фиксированного лимита подсказок.

Для оценки внедрения предлагается отдельно учитывать результат задания с поддержкой, самостоятельную проверку, отсроченную проверку и восприятие студентом своего прогресса. Необязательно сводить их к единому индексу. Например, студент успешно обсуждает тему, но пока не применяет её самостоятельно. Для преподавателя такое описание содержательнее числа без пояснений. При сравнении групп появляется ещё один вопрос: сопоставимы ли исходные знания, время работы и состав заданий? Без их учёта различие условий обучения можно принять за действие ИИ.

По теме может возникать много вопросов из интереса к обсуждению или потому, что она требует более развёрнутой практики. Само по себе это ещё не свидетельствует о слабом освоении. Сводка повторяющихся затруднений могла бы помочь преподавателю изменить объяснение на занятии, если частота вопросов соотнесена с числом участников и характером задания. Для понимания автоматической сводки нужны примеры ошибок и основания выводов. Одного перечня «слабых тем» мало.

После быстрого объяснения остаётся выяснить, может ли студент применить материал. Если помощник участвовал в поиске, предметом проверки становятся источники; после обсуждения ошибки проверяется самостоятельное исправление. Так в предлагаемой схеме каждая возможность ИИ соотносится с проверяемым учебным действием. Общий перечень преимуществ и недостатков технологии этих связей не раскрывает. Такое сопоставление не гарантирует педагогического эффекта, но задаёт условия, при которых его можно исследовать. Оно также позволяет отделить техническую доступность инструмента от качества построенного вокруг него обучения.

В учебном задании полезно явно разделить продукт и свидетельства его подготовки. Например, к краткому обзору темы студент может приложить несколько использованных источников, пояснить выбор одного из них и показать исправление спорного утверждения. Если поиск или редактирование выполнялись с ИИ, это нужно раскрыть и описать проверку, проведённую человеком. По такому описанию преподаватель может оценить вклад студента применительно к цели работы. Полная личная переписка и посторонние сведения для этого не нужны.

До апробации нужно решить, что считать неудачей. При противоречивом объяснении или отсутствии ответа в материалах от помощника можно ожидать признания ограничения и направления к преподавателю. Если после успешной тренировки студент не решил новую задачу, сохранять за темой статус освоенной автоматически нельзя. Рекомендацию придётся пересмотреть. Для проверки такого поведения нужен набор сценариев с правильными

ответами, типичными ошибками, неполными условиями и случаями недостаточности данных.

Задание с однозначным ответом удобно проверять автоматически. С аргументированным решением сложнее: оно может допускать несколько способов и требовать предметной экспертизы. Спорный результат нужно обсуждать с преподавателем. Поэтому применение ИИ разумно начинать с ограниченного круга задач, где критерии понятны участникам. Качество объяснений и обратной связи нужно проверить до расширения сценариев. Такой порядок позволяет исследовать конкретный образовательный эффект, не связывая успех всей инициативы с обещанием универсального цифрового наставника.

Концепция среды поддержки и мониторинга освоения тем

Одним из вариантов практического применения является учебная среда, объединяющая материалы преподавателя, диалоговую помощь и тематическую самопроверку. Студент выбирает лекцию, фрагмент видео или задание, а помощник поясняет выбранный материал. Для видео нужна расшифровка с временными метками, а если обсуждается визуальное содержание — ещё и доступ к соответствующему кадру. На рисунке 2 показано, как такое взаимодействие могло бы выглядеть. Макет и диалог иллюстрируют концепцию; о создании или внедрении системы речь здесь не идёт.

Учебная среда	КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ МАКЕТ
Основы SQL / Группировка данных Иллюстративный сценарий • работа с материалом и пояснениями	
Материал преподавателя Фрагмент лекции • 01:21 GROUP BY объединяет строки по выбранному признаку. SUM вычисляет сумму значений внутри каждой группы. Учебный пример <pre>SELECT city, SUM(revenue) FROM orders GROUP BY city;</pre>	Диалог с помощником Студент Почему после GROUP BY строк становится меньше? ИИ-помощник Каждая строка результата описывает одну группу. Как думаешь, сколько групп получится для трёх разных городов? Источник: лекция, фрагмент 01:21

Показаны проектируемые элементы; диалог составлен для иллюстрации.

Рисунок 2. Концептуальный макет работы с лекцией и ИИ-помощником. Интерфейс и диалог подготовлены для иллюстрации, а не получены из работающей системы.

Пока студент учится, он может задавать вопросы, разбирать примеры и получать последовательные подсказки. Когда речь заходит о самостоятельной диагностике, нужны новые задания и заранее определённые правила помощи. Её целесообразно проводить отдельно. Наблюдаемые действия дают основание для карты освоения темы: студент успешно применил материал самостоятельно, повторил ошибку или данных для вывода пока мало. Число обращений к помощнику описывает процесс, но напрямую перевести его в процент понимания нельзя. Автоматически учитывать его в официальной оценке также нельзя. Пример карты дан на рисунке 3.

Возврат к фрагменту лекции, повторение по карточкам или новые упражнения могли бы стать рекомендациями для студента. Правильная работа интерфейса ещё не показывает их полезности; это предмет отдельной проверки. Даже отключив встроенного помощника для дистанционной диагностики, нельзя исключить обращение к внешнему сервису. С прогнозом экзаменационного результата вопрос тоже остаётся открытым: для него нужны собственные данные и проверка качества. Пока обоснован порядок наблюдений. Разработка

работающей системы и оценка её образовательного эффекта относятся к следующему исследованию.

Учебная среда

КОНЦЕПТУАЛЬНЫЙ МАКЕТ

Карта освоения тем

Демонстрационные записи • учебная диагностика отдельно от официальных оценок

Тема	Наблюдаемые действия	Следующий шаг
Фильтрация	Новая задача выполнена самостоятельно. Способ решения объяснён.	Проверка после перерыва
Группировка	Практика выполнена с подсказками. Самостоятельной проверки ещё нет.	Новое задание без подсказок
Объединение таблиц	В двух заданиях повторилась ошибка при выборе ключа соединения.	Разбор ошибки и повторение

Число подсказок не переводится в процент понимания.

Концептуальный макет; данные не являются результатами наблюдения за студентами.

Рисунок 3. Концептуальный макет карты освоения тем. Демонстрационные записи не являются эмпирическими данными студентов.

Ограничения анализа

Обзор опирается на целевой набор источников и не оценивает совокупный эффект генеративного ИИ. В него включены разные типы доказательств, которые разграничены, но не приведены к общей шкале. Школьный эксперимент используется для обсуждения механизма зависимости от помощи, а не как прямое доказательство эффекта в высшей школе. Данные зарубежных университетов также не переносятся автоматически на локальные образовательные условия. Предлагаемая аналитическая схема нуждается в проверке на конкретных дисциплинах и группах студентов.

Сервисы описаны по опубликованным функциям; технического тестирования их актуальных версий это описание не заменяет. Наблюдение за студентами, оценка их персональных данных и экспериментальное сравнение платформ не проводились. Выводы касаются организации применения ИИ и обоснованности контроля, без построения рейтинга продуктов. Для дальнейшей проверки целесообразно выбрать один учебный модуль и зафиксировать допустимую помощь. Исходные знания затем следует сопоставить с самостоятельными результатами сразу после изучения и после перерыва.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Генеративный искусственный интеллект расширяет доступ к объяснениям, обратной связи и учебным материалам, но образовательный результат зависит от того, какие действия сохраняются за студентом. Сопоставленные исследования показывают необходимость различать успешность работы с помощником, отношение к технологии и самостоятельное владение материалом. Ни удобство сервиса, ни качество подготовленного ответа по отдельности не позволяют судить о достижении учебной цели. По той же причине результаты детекторов ИИ-текста не заменяют проверку знаний.

Основной результат работы — аналитическая схема, связывающая цель использования ИИ, характер поддержки и способ последующего подтверждения освоения. Её применение предполагает доступные объяснения, содержательную практику, самостоятельные задания и повторную проверку при необходимости. Такой подход допускает различия дисциплин и

университетских правил, поскольку не задаёт универсальную формулу оценки. Вывод об освоении требует наблюдаемого действия и учёта условий его выполнения.

Предложенная цифровая среда могла бы помогать учиться и выбирать темы повторения, сохраняя рекомендации отдельно от официальных оценок. Повысится ли успеваемость, снизится ли зависимость от подсказок, насколько точным окажется прогноз экзамена? Ответы потребуют отдельного исследования. На данном этапе вклад состоит в формулировании условий, при которых такие результаты могут быть корректно получены и интерпретированы.

СООБЩЕНИЕ ОБ ИСПОЛЬЗОВАНИИ ТЕХНОЛОГИЙ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА: При подготовке рукописи авторы использовали инструмент искусственного интеллекта ChatGPT (OpenAI, 2026) для приведения оформления текста в соответствие с требованиями издания.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

Albadarin, Y., Saqr, M., Pope, N., & Tukiainen, M. (2024). A systematic literature review of empirical research on ChatGPT in education. *Discover Education*, 3, Article 60. <https://doi.org/10.1007/s44217-024-00138-2>

Anthropic. (2025, April 2). *Introducing Claude for education*. <https://www.anthropic.com/news/introducing-claude-for-education>

Bastani, H., Bastani, O., Sungu, A., Ge, H., Kabakcı, Ö., & Mariman, R. (2025). Generative AI without guardrails can harm learning: Evidence from high school mathematics. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 122(26), Article e2422633122. <https://doi.org/10.1073/pnas.2422633122>

Chan, C. K. Y., & Hu, W. (2023). Students' voices on generative AI: Perceptions, benefits, and challenges in higher education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, Article 43. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00411-8>

Google. (2025a, September 8). *6 ways to use NotebookLM to master any subject*. <https://blog.google/innovation-and-ai/models-and-research/google-labs/notebooklm-student-features/>

Google. (2025b, August 6). *Guided Learning in Gemini: From answers to understanding*. <https://blog.google/products-and-platforms/products/education/guided-learning/>

Grassini, S. (2023). Shaping the future of education: Exploring the potential and consequences of AI and ChatGPT in educational settings. *Education Sciences*, 13(7), Article 692. <https://doi.org/10.3390/educsci13070692>

Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., Gasser, U., Groh, G., Günnemann, S., Hüllermeier, E., Krusche, S., Kutyniok, G., Michaeli, T., Nerdel, C., Pfeffer, J., Poquet, O., Sailer, M., Schmidt, A., Seidel, T., ... Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, Article 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>

Kestin, G., Miller, K., Klales, A., Milbourne, T., & Ponti, G. (2025). AI tutoring outperforms in-class active learning: An RCT introducing a novel research-based design in an authentic educational setting. *Scientific Reports*, 15, Article 17458. <https://doi.org/10.1038/s41598-025-97652-6>

Labadze, L., Grigolia, M., & Machaidze, L. (2023). Role of AI chatbots in education: Systematic literature review. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20, Article 56. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00426-1>

Liang, W., Yuksekogonul, M., Mao, Y., Wu, E., & Zou, J. (2023). GPT detectors are biased against non-native English writers. *Patterns*, 4(7), Article 100779. <https://doi.org/10.1016/j.patter.2023.100779>

- Lo, C. K. (2023). What is the impact of ChatGPT on education? A rapid review of the literature. *Education Sciences*, 13(4), Article 410. <https://doi.org/10.3390/educsci13040410>
- Miao, F., & Holmes, W. (2023). *Guidance for generative AI in education and research*. UNESCO. <https://unesdoc.unesco.org/ark:/48223/pf0000386693>
- OpenAI. (2025, July 29). *Introducing study mode*. <https://openai.com/index/chatgpt-study-mode/>
- OpenAI. (2026, September 16). *Formatting a manuscript according to journal requirements* [Generative AI chat]. ChatGPT. <https://chatgpt.com/>
- Perplexity. (2025, February 14). *Introducing Perplexity Deep Research*. <https://www.perplexity.ai/hub/blog/introducing-perplexity-deep-research>
- Weber-Wulff, D., Anohina-Naumeca, A., Bjelobaba, S., Foltýnek, T., Guerrero-Dib, J., Popoola, O., Šigut, P., & Waddington, L. (2023). Testing of detection tools for AI-generated text. *International Journal for Educational Integrity*, 19, Article 26. <https://doi.org/10.1007/s40979-023-00146-z>

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	Абдувахатов Б.А. – магистрант, «Компьютерлік инженерия» кафедрасы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Абдувахатов Б.А. – магистрант, кафедра «Компьютерная инженерия», Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Abduvakhapov B.A. – Master's student, Department of Computer Engineering, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan E-mail: bekzotabdi@yandex.kz
2	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, Turkestan, Kazakhstan E-mail: nurseit.zhunissov@ayu.edu.kz ORCID: 0000-0001-6531-9408
3	Абдразах Ы.Қ. – техника ғылымдарының магистрі, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Абдразах Ы.Қ. – магистр технических наук, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Abdrazakh Y.K. – Master of Technical Sciences, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan E-mail: yntymak.abdrazakh@ayu.edu.kz ORCID: 0000-0002-7119-1217

A.B. ABEN¹, D. GABDULLAULY²

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

¹ E-mail: arypzhan.aben@ayu.edu.kz*

² E-mail: gabdulladimas@gmail.com

DEVELOPING AN OPEN-SOURCE DATASET FOR SPEECH SOUND DISORDERS IN KAZAKH CHILDREN

Abstract. Speech sound disorders (SSD) in childhood affect intelligibility, literacy, social participation and emotional well-being, yet no annotated corpus of child speech exists for Kazakh, a low-resource language, which limits the development of diagnostic and therapeutic tools. This study describes the construction of a Kazakh child SSD dataset from 100 children aged 3–10 years (50 with SSD diagnosed by speech-language therapists and 50 typically developing controls). Each child completed a fixed elicitation protocol (30 single words, 10 phrases and 5 sentences) recorded at 44.1 kHz/16 bit under controlled clinical conditions; after segmentation and quality screening, the corpus contains 10,000 utterance-level audio files with IPA transcriptions, error annotations and participant metadata. Compared with controls, the SSD group showed higher mean F0, F1 and F2 (Cohen's $d = 0.44$ – 0.53), longer articulation duration ($d = 0.88$) and a markedly higher error rate (35% vs. 5%), dominated by substitutions and omissions of velar and uvular consonants. The dataset, preprocessing scripts and documentation are released at <https://doi.org/10.5281/zenodo.14589203> under the CC BY 4.0 (metadata and code) and CC BY-NC 4.0 (audio) licences, providing a basis for Kazakh-specific research on child speech development and for AI-based screening tools.

Keywords: speech sound disorders, Kazakh language, child speech corpus, phonological disorders, articulation disorders, low-resource languages, acoustic analysis.

A.B. АБЕН¹, Д. ГАБДУЛЛАҰЛЫ²

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

¹ E-mail: arypzhan.aben@ayu.edu.kz*

² E-mail: gabdulladimas@gmail.com

ҚАЗАҚ БАЛАЛАРЫНДАҒЫ СӨЙЛЕУ ДЫБЫСЫ БҰЗЫЛУЫНА АРНАЛҒАН АШЫҚ КӨЗДІ ДЕРЕКТЕР ЖИЫНЫН ӘЗІРЛЕУ

Аңдатпа. Балалардағы сөйлеу дыбыстарының бұзылуы (SSD) сөйлеудің түсініктілігіне, сауаттылыққа, әлеуметтік қарым-қатынас пен эмоционалдық әл-ауқатқа әсер етеді, алайда ресурсы шектеулі қазақ тілі үшін балалар сөйлеуінің аннотацияланған корпусы жоқ, бұл диагностикалық және терапиялық құралдарды әзірлеуді тежейді. Мақалада 3–10 жас аралығындағы 100 баладан (логопед SSD диагнозын қойған 50 бала және қалыпты дамыған 50 бала) құралған қазақ тіліндегі SSD деректер жиынын құру сипатталады. Әр бала бірдей тапсырмаларды (30 жеке сөз, 10 сөз тіркесі, 5 сөйлем) орындады; жазбалар бақыланатын клиникалық жағдайда 44,1 кГц/16 бит форматында жасалды. Сегментация мен сапа тексеруінен кейін корпус IPA транскрипциясы, қате аннотациялары және метадеректері бар 10 000 аудиоүлгіден тұрады. Бақылау тобымен салыстырғанда SSD тобында F0, F1 және F2 орташа мәндері жоғары (Cohen's $d = 0,44$ –

0,53), артикуляция ұзақтығы ұзағырақ ($d = 0,88$), ал қате үлесі едәуір жоғары болды (35% қарсы 5%); қателердің басым бөлігін веляр және увуляр дауыссыздарды алмастыру мен түсіріп айту құрады. Деректер жиыны, алдын ала өңдеу скриптітері және құжаттамасы <https://doi.org/10.5281/zenodo.14589203> мекенжайында CC BY 4.0 (метадеректер мен код) және CC BY-NC 4.0 (аудио) лицензияларымен жарияланады; ол қазақ балаларының сөйлеу дамуын зерттеуге және ЖИ негізіндегі скрининг құралдарын жасауға негіз бола алады.

Түйін сөздер: сөйлеу дыбыстарының бұзылуы, қазақ тілі, балалар сөйлеуінің корпусы, фонологиялық бұзылыстар, артикуляциялық бұзылыстар, ресурсы шектеулі тілдер, акустикалық талдау.

А.Б. АБЕН¹, Д. ГАБДУЛЛАУЛЫ²

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

¹ E-mail: arypzhan.aben@ayu.edu.kz*

² E-mail: gabdulladimas@gmail.com

РАЗРАБОТКА ОТКРЫТОГО НАБОРА ДАННЫХ ПО НАРУШЕНИЯМ ЗВУКОВОЙ РЕЧИ У КАЗАХСКИХ ДЕТЕЙ

Аннотация. Нарушения звукопроизношения у детей (SSD) влияют на разборчивость речи, грамотность, социальное взаимодействие и эмоциональное благополучие, однако для казахского языка, относящегося к малоресурсным, отсутствует аннотированный корпус детской речи, что сдерживает разработку средств диагностики и терапии. В статье описано создание набора данных по SSD на казахском языке, включающего записи 100 детей 3–10 лет (50 детей с SSD, диагностированным логопедами, и 50 детей с нормативным речевым развитием). Каждый ребёнок выполнял одинаковый протокол (30 отдельных слов, 10 словосочетаний, 5 предложений); записи выполнены в контролируемых клинических условиях с частотой 44,1 кГц/16 бит. После сегментации и контроля качества корпус содержит 10 000 аудиообразцов с транскрипцией IPA, разметкой ошибок и метаданными. По сравнению с контрольной группой у детей с SSD выявлены более высокие средние значения F_0 , F_1 и F_2 (d Коэна = 0,44–0,53), большая длительность артикуляции ($d = 0,88$) и значительно более высокая доля ошибок (35% против 5%), преимущественно замен и пропусков велярных и увулярных согласных. Набор данных, скрипты предобработки и документация опубликованы по адресу <https://doi.org/10.5281/zenodo.14589203> на условиях лицензий CC BY 4.0 (метаданные и код) и CC BY-NC 4.0 (аудио) и могут служить основой для исследований детской речи и разработки инструментов скрининга на базе ИИ.

Ключевые слова: нарушения звукопроизношения, казахский язык, корпус детской речи, фонологические нарушения, артикуляционные нарушения, малоресурсные языки, акустический анализ.

INTRODUCTION

Speech sound disorders (SSD) are difficulties in the perception, motor production or phonological representation of speech sounds that reduce a child's intelligibility in everyday communication (Stackhouse & Wells, 1997). The term covers a continuum from mild distortions of single sounds to speech that is largely unintelligible. Two broad subtypes are usually distinguished: articulation disorders, involving distortions or substitutions of individual speech sounds, and phonological disorders, involving rule-based error patterns in the use of sound contrasts at the word level. The presentation of SSD changes with age and severity. Across languages, most consonants are acquired by about five years of age, and by 5;0 children produce the large majority of consonants correctly (McLeod & Crowe, 2018).

The causes of SSD vary: in some children they are associated with neurological, structural or hearing conditions, whereas in many others no identifiable cause is found. Early identification is important because persistent speech difficulties can interfere with education and social development (Child Mind Institute, 2025), and affected children are at risk of later difficulties in academic achievement, social well-being and mental health (Langbecker et al., 2020).

Epidemiological data illustrate the scale of the problem. In the United States, about 7.7% of children aged 3–17 years have a speech or language disorder, with a higher reported prevalence in boys (9.6%) than in girls (5.7%) (National Institute on Deafness and Other Communication Disorders, 2025). These figures underline the need for early identification and treatment.

Building a specialised corpus of Kazakh child speech poses particular challenges. Speech technology resources for Kazakh are limited, and labelled child speech is scarce. Young children are also difficult recording participants: they tire quickly, lose attention, move during recording and may feel uncomfortable speaking into a microphone. As a result, recordings vary in length and content, and the produced utterance does not always match the intended target (Olstad et al., 2024).

Parental involvement is essential for data collection. Background questionnaires completed by parents may be incomplete, formal Kazakh-language speech assessment tools are scarce, and qualified speech-language therapists working in Kazakh are difficult to recruit. Recording conditions also affect data quality: background noise, the presence of other children and procedural errors reduce the usability of recordings (Olstad et al., 2024). Because Russian and other languages are often used alongside Kazakh, multilingual family backgrounds must be documented and considered in the analysis.

Child speech also differs acoustically from adult speech. Children have shorter vocal tracts, which results in higher fundamental and formant frequencies, and speech motor control matures slowly, so that articulation varies considerably even among children of the same age. Consequently, speech technology models trained on adult speech perform less well on child speech, and dedicated child speech training data are required (Benway et al., 2023).

In this study, speech recordings from children with typical speech development and from children with SSD, together with the associated metadata, were collected to build an open dataset of SSD in Kazakh-speaking children. The dataset is intended to support the automated analysis of child speech, the detection of SSD with AI models and the development of online speech therapy tools.

The contribution is also relevant to low-resource languages more broadly. To the authors' knowledge, no publicly available database contains speech samples of Kazakh-speaking children with SSD or with typical speech development. Previous work on Kazakh speech technology has focused on adult speech for text-to-speech synthesis and speech recognition (Mussakhoyayeva et al., 2021), and no SSD-annotated corpus of Kazakh child speech is available. The present dataset is intended to fill this gap.

The remainder of the paper is organised as follows. The Literature Review summarises existing SSD datasets; the Methods section describes the participants, ethical procedures, recording, preprocessing, annotation, acoustic measurement and statistical analysis; the Results section reports the dataset structure, acoustic characteristics and error patterns; and the Discussion considers limitations and future applications.

LITERATURE REVIEW

Research on childhood SSD requires well-structured datasets, because diagnosis, classification and the identification of intervention targets all depend on the quality and structure of the available data. SSD may involve articulation difficulties with particular sounds or phonological difficulties that appear as error patterns in the use of sounds (Stackhouse & Wells, 1997).

Creating child speech datasets for low-resource languages such as Kazakh is particularly important because no labelled database exists for the automatic analysis of speech disorders in these languages. This section reviews datasets and approaches relevant to SSD research, published mainly between 2016 and 2025, and assesses their relevance to the proposed Kazakh dataset.

Challenges in the Creation of SSD Datasets

To be usable for SSD research, a dataset must meet several methodological and organisational requirements: speech must be recorded in acoustically controlled rooms, diagnosis must follow consistent procedures, and the ethical requirements of research with children must be respected. In addition, preschool children have limited attention spans, so parts of their recordings may have to be discarded because of noise or inconsistent responses (Grill & Tučková, 2016; Olstad et al., 2024).

Recruitment depends on parents' decisions: parents may decline participation because of privacy concerns or the time required for assessment. In low-resource languages such as Kazakh, the lack of standardised assessment tools and suitably trained specialists further constrains systematic data collection. Environmental noise and linguistic variability also matter; in Kazakhstan, the influence of Russian must be taken into account when collecting and analysing data.

Existing SSD Datasets

Table 1 summarises six datasets and data resources discussed in the literature. Together, they illustrate approaches to collecting and analysing data on paediatric articulation and phonological disorders and provide methodological points of comparison for the proposed Kazakh dataset.

Table 1. Major datasets and resources for research on paediatric speech sound disorders.

Dataset	Description	Type of speech disorder	Reference
SSD profiling corpus	Recordings of children with speech disorders (25 words/phrases, 20 words and five sentences) with IPA transcriptions, recorded under controlled acoustic conditions with ethical clearance and parental consent; stratified by age and severity.	Articulation disorders; phonological disorders; childhood apraxia of speech (CAS)	Diepeveen et al., 2022
LANNA databases (Czech)	Two databases recorded by the LANNA group (Czech Technical University): typically developing children and children with SLI, recorded in schools and clinics; severity (mild/moderate/severe) rated by clinicians.	Specific language impairment (developmental dysphasia)	Grill & Tučková, 2016
PERCEPT corpora	AI-ready corpora of American English child citation speech, including children with SSD, shared through PhonBank and analysable with the Phon software.	Speech sound disorders (including residual errors)	Benway et al., 2023
SSD outcome-measures review	Umbrella review of 18 systematic reviews and 415 primary studies cataloguing assessments, interventions and outcome measures for children with SSD.	SSD of unknown origin	Harding et al., 2024
Nordic child pronunciation corpora	Finnish, Swedish and Norwegian child speech collected for pronunciation assessment of L2 learners and L1 children with SSD; the Norwegian corpus is publicly available, and ethical aspects of data sharing are discussed.	Speech sound disorders; L2 pronunciation	Olstad et al., 2024
Minimal dataset proposal (UK)	Review of 174 sets of case notes and 234 therapy blocks from three NHS services for school-age children with SSD; proposes a minimal dataset to be collected routinely for every child.	Speech sound disorders	Morgan et al., 2021

Datasets Analysed

The SSD profiling corpus was developed to study articulation and phonological disorders and childhood apraxia of speech and contains phonetic transcriptions together with recordings (Diepeveen et al., 2022). Controlled data collection and adherence to ethical procedures are essential for dataset quality.

The Czech LANNA databases illustrate the challenges of building child speech resources for a less-resourced language, including variability in recording conditions and in children's speech (Grill & Tučková, 2016); similar issues are expected in Kazakh data collection. The minimal dataset proposed for UK clinical services, which specifies the variables to be recorded for every child, provides a useful reference for metadata design (Morgan et al., 2021).

Reviews of SSD outcomes emphasise the importance of standardised instruments (Harding et al., 2024) and of agreeing on a minimal set of variables that should be collected for every child (Morgan et al., 2021). More recently, AI-ready child speech corpora such as PERCEPT (Benway et al., 2023) and Nordic child pronunciation corpora that include children with SSD (Olstad et al., 2024) have shown how such data can be curated, annotated and shared for machine-learning research, and how the ethical questions raised by publishing child speech can be addressed.

Gaps and Advantages

None of the existing datasets covers Kazakh; they focus on well-resourced languages or a small number of other languages, so Kazakh remains underrepresented. Existing Kazakh speech resources, such as KazakhTTS, contain adult speech recorded for text-to-speech synthesis (Mussakhojayeva et al., 2021), and no dataset targets children or SSD.

The aim of this work is to address this gap by creating a Kazakh child speech dataset that can support AI-based diagnosis and therapy. Lessons from previous datasets on recording conditions and ethical principles were applied during data acquisition.

METHODS

The study has been completed in full: all participants were recruited, all recordings were collected and annotated, and the analyses reported below were performed on the final dataset. Participants were 100 Kazakh-speaking children aged 3–10 years, a critical period for speech acquisition. Fifty children had a diagnosis of an articulation or phonological disorder (SSD group) and 50 had typical speech development (control group). Children were recruited from preschools and speech-language therapy clinics in Almaty, Kazakhstan, between September 2024 and March 2025. The workflow is shown in Figure 1.

SSD diagnosis was confirmed by trained speech-language therapists (SLTs). Because standardised assessments do not yet exist for Kazakh, diagnosis was based on a Kazakh-language phonological assessment developed by the clinical team, which has not been formally standardised (see Limitations). Inclusion criteria were: Kazakh as the child's first or dominant language; age 3;0–10;11 years; normal hearing confirmed by pure-tone screening at 20 dB HL (0.5, 1, 2 and 4 kHz); and no known neurological, cognitive or craniofacial condition. Severity (mild, moderate or severe) was rated by the SLT on the basis of the percentage of consonants correct (PCC) in the single-word task, adapting the bands of Shriberg and Kwiatkowski (1982): mild, PCC $\geq$ 85%; moderate, 65–84%; severe, < 65%.

Ethical Considerations

The study protocol was approved by the Local Ethics Committee of Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University (protocol No. 7, dated 12 September 2024) and followed the Declaration of Helsinki. Parents or legal guardians received written and oral information about the aims of the study, the recording procedure and the planned public release of anonymised recordings, and gave written informed consent, including separate consent for data sharing. Children gave verbal assent before each session and could stop at any time; sessions were interrupted if a child showed fatigue or distress. Each child was assigned a pseudonymous code (P001–P100); names, dates of birth, recording locations and other identifying details were removed

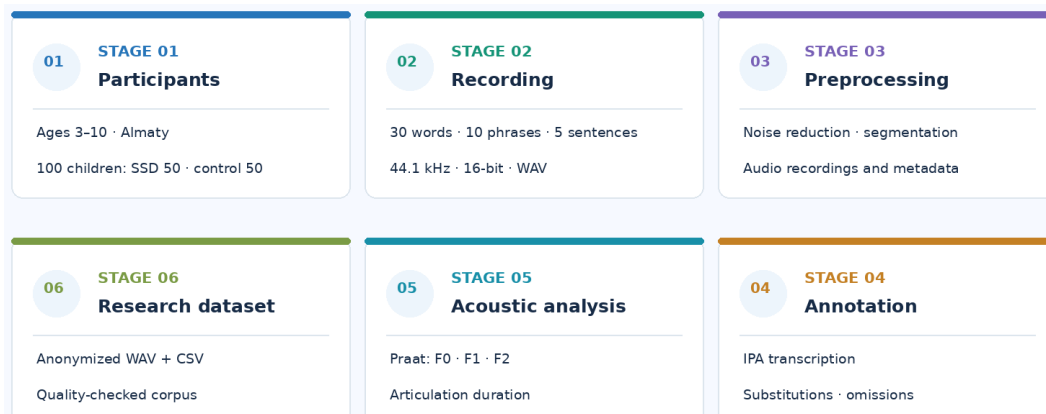




Figure 2. Speech material elicited from every participant.

Acoustic Measurements

Acoustic measures were extracted in Praat (Boersma & Weenink, 2024) with a script applied identically to all files. F0 was estimated with the autocorrelation method (pitch floor 150 Hz, pitch ceiling 600 Hz, time step 10 ms) over the voiced portions of each utterance, and the mean F0 of an utterance was computed from all its voiced frames. F1 and F2 were measured with the Burg method (5 formants, maximum formant 8,000 Hz, window length 25 ms) at the temporal midpoint (50%) of the first-syllable vowel of each target word, where formant tracks are most stable; vowels shorter than 40 ms were excluded. Articulation duration was defined as the interval from the acoustic onset to the offset of the utterance, excluding leading and trailing silence. Utterance-level values were first averaged within each child, so that each child contributed one value per measure ($n = 50$ per group); this avoids treating repeated utterances of the same child as independent observations.

Statistical Analysis

Group differences in F0, F1, F2 and articulation duration were tested with two-tailed Welch's t-tests on child-level means; Cohen's d (pooled SD) is reported as the effect size together with the 95% confidence interval (CI) of the mean difference. Differences in the distribution of errors between groups were tested with Pearson's χ^2 test on error counts, and Cramér's V is reported as the effect size. Associations of severity and age with error rates were examined with Pearson's correlation coefficient. The significance level was $\alpha = 0.05$. Analyses were performed in Python 3.11 (SciPy 1.11, statsmodels 0.14).

Quality Control

Recordings were made in sound-treated rooms where possible to reduce background noise. If a production was unclear or the child was inattentive, the item was re-elicited in the same or an additional session. IPA transcriptions were checked independently by two linguists; inter-rater agreement for error coding was Cohen's $\kappa = 0.85$, and disagreements were resolved by consensus. More than 95% of the retained files have an estimated SNR above 20 dB, and the orthographic content of more than 98% of the transcriptions was verified.

RESULTS

The final Kazakh SSD dataset contains 10,000 utterance-level audio files produced by 100 children aged 3–10 years (50 SSD, 50 controls), 5,000 files per group. The mean file duration is about 2 s, and all files are stored at 44.1 kHz and 16-bit depth. The data include isolated words, phrases, sentences and spontaneous utterances covering Kazakh phonemes. For each file, the metadata give the child's demographic characteristics, SSD severity, home language and manually annotated sound errors. Participant characteristics are shown in Figure 3.

Acoustic Characteristics

Mean F0, F1, F2 and articulation duration for each group are summarised in Table 2. Values are means $\pm$ SD of child-level averages ($n = 50$ per group) obtained as described in the Methods.

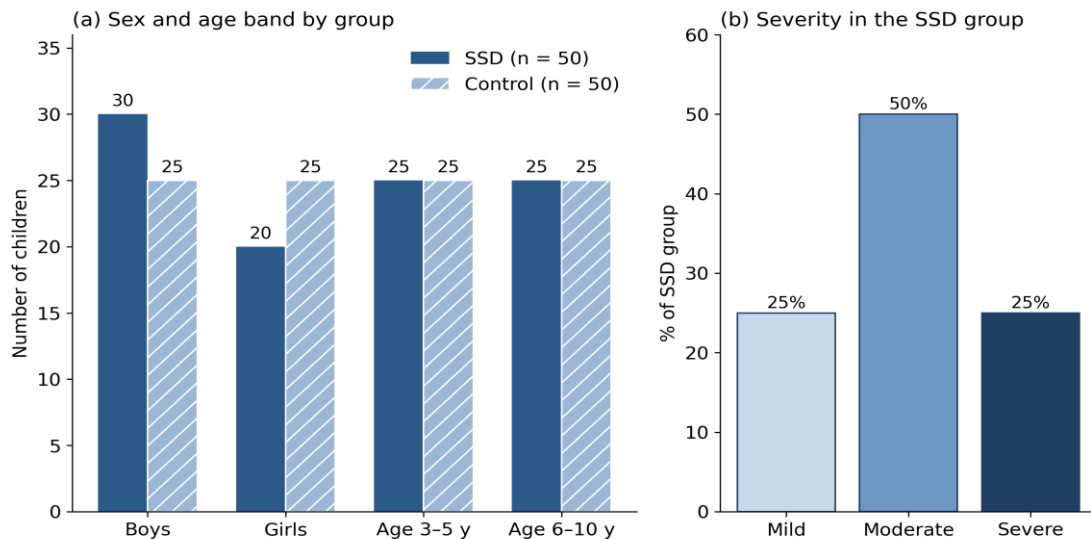


Figure 3. Participant characteristics: (a) sex and age band by group; (b) severity distribution in the SSD group.

Table 2. Acoustic characteristics of the Kazakh SSD dataset (mean $\pm$ SD; n = 50 children per group).

Group	Mean fundamental frequency (Hz)	Mean F1 (Hz)	Mean F2 (Hz)	Mean articulation duration (s)
SSD	320 $\pm$ 50	900 $\pm$ 100	2,200 $\pm$ 200	2.3 $\pm$ 0.5
Control	300 $\pm$ 40	850 $\pm$ 90	2,100 $\pm$ 180	1.9 $\pm$ 0.4

Note. Welch's t-tests on child-level means (n = 50 per group): F0 $t(93.5) = 2.21$, $p = 0.030$, $d = 0.44$; F1 $t(96.9) = 2.63$, $p = 0.010$, $d = 0.53$; F2 $t(96.9) = 2.63$, $p = 0.010$, $d = 0.53$; articulation duration $t(93.5) = 4.42$, $p < 0.001$, $d = 0.88$.

Fundamental Frequency

Mean F0 was 320 Hz (SD = 50) in the SSD group and 300 Hz (SD = 40) in the control group (Welch's $t(93.5) = 2.21$, $p = 0.030$, 95% CI of the difference 2.0–38.0 Hz, Cohen's $d = 0.44$). The higher value in the SSD group may reflect differences in vocal tract size or developmental status, as expected from the acoustics of child speech. Within the SSD group, mean F0 was 340 Hz in children aged 3–5 years and 300 Hz in those aged 6–10 years, consistent with a decrease with age. Boys and girls had similar values (325 and 315 Hz in the SSD group; 305 and 295 Hz in the control group).

F1 and F2

Mean formant frequencies were higher in the SSD group: F1 was 900 Hz (SD = 100) vs. 850 Hz (SD = 90) in controls ($t(96.9) = 2.63$, $p = 0.010$, 95% CI 12.2–87.8 Hz, $d = 0.53$), and F2 was 2,200 Hz (SD = 200) vs. 2,100 Hz (SD = 180) ($t(96.9) = 2.63$, $p = 0.010$, 95% CI 24.5–175.5 Hz, $d = 0.53$). These differences may partly reflect anatomical variation. Formant variability, particularly for F2, was also greater in the SSD group, suggesting less stable articulatory control. In the SSD group, F1 was higher in isolated words (920 Hz) than in sentences (880 Hz), possibly reflecting greater articulatory effort in isolated production. Children exposed to Russian (30% of each group) had lower F1 values, suggesting that vowel production may be influenced by language input.

Articulation Duration

Mean articulation duration was longer in the SSD group (2.3 s, SD = 0.5) than in the control group (1.9 s, SD = 0.4; $t(93.5) = 4.42$, $p < 0.001$, 95% CI 0.22–0.58 s, $d = 0.88$). This may indicate a slower speech rate due to motor planning difficulties or compensatory strategies. Durations were longest in the sentence task (2.5 s in the SSD group vs. 2.0 s in controls). Within the SSD group, children aged 3–5 years had a mean duration of 2.6 s compared with 2.1 s in children aged 6–10 years, and children with severe SSD (25% of the group) had the longest durations (2.8 s).

Error Patterns

Error patterns were transcribed in IPA by two linguists (Cohen's $\kappa = 0.85$). The overall error rate, defined as the percentage of samples containing at least one error, was 35% in the SSD group and 5% in the control group ($\chi^2(1, N = 10,000) = 1406.3$, $p < 0.001$, Cramér's $V = 0.38$). Errors were classified as substitutions, omissions, distortions and additions; their distribution is shown in Table 3.

Table 3. Error patterns in the Kazakh SSD dataset.

Error type	SSD group (%)	Control group (%)	Example (target → error)
Substitutions	25	2	/q/ → /t/ (qala → tala)
Omissions	15	1	/q/ omitted (qala → ala)
Distortions	10	2	/s/ → [ʂ] (säbiz → [ʂæbiz])
Additions	5	0	vowel added (sol → [solu])

Note. Percentages give the proportion of samples containing at least one error of the given type; a sample may contain more than one error type, so the values do not sum to the overall error rate.

Substitutions

Substitution was the most frequent error type, occurring in 25% of SSD samples. Velar and uvular consonants such as /k/ and /q/ were often replaced by alveolar consonants such as /t/ and /d/ (e.g., /qala/ → /tala/). This pattern was more frequent in younger children (30% at ages 3–5 vs. 20% at ages 6–10) and in severe cases (35%). Replacement of front vowels (/i/, /e/) by back vowels (/u/, /o/) occurred in 5% of samples, suggesting difficulties with Kazakh vowel harmony. Bilingual children also showed distinctive substitutions, possibly reflecting cross-language interference.

Omissions

Omissions occurred in 15% of SSD samples and mainly affected consonant clusters and uvular consonants (e.g., /qala/ → /ala/). They were more frequent in sentences (20%) than in isolated words (10%) and in children aged 3–5 years (25%). The omission rate correlated positively with severity ($r = 0.62$, $p < 0.01$) and reached 30% in the severe subgroup. Omissions were almost absent in the control group (1%).

Distortions

Distortions occurred in 10% of SSD samples and mainly involved the fricatives /s/ and /ʃ/ and affricates. They were more frequent in moderate and severe cases (15%) and varied little with age (8–12%). In the control group, distortions occurred in 2% of samples, mainly in rapid speech. Distortions of uvular consonants are of particular interest for Kazakh phonology.

Additions

Additions of vowels or consonants were the least frequent error type (5% in the SSD group, 0% in controls), e.g., /sol/ → [solu]. They occurred mainly in younger children and in spontaneous speech and may function as a compensatory strategy. In severe SSD, additions occurred in about 8% of samples.

Errors by Tasks

Error rates differed across tasks. In isolated words, substitutions were most frequent (30%), whereas sentences showed more omissions (20%), possibly because of their greater phonological complexity. In spontaneous utterances, substitutions, omissions and distortions occurred in 15%, 10% and 8% of samples, respectively. In the control group, the error rate was about 5% across tasks, and no additions were recorded.

Demographic and Metadata Analysis

Demographic characteristics and metadata are summarised in Table 4.

Table 4. Summary of demographic characteristics and metadata.

Characteristic	SSD group (%)	Control group (%)
Boys	60	50

Characteristic	SSD group (%)	Control group (%)
Age 3–5 years	50	50
SSD severity: severe	25	—
SSD severity: moderate	50	—
SSD severity: mild	25	—
Bilingual (Kazakh–Russian)	30	30

Note. Severity ratings apply only to the SSD group; control children had no SSD diagnosis.

Sex Distribution

The SSD group included 60% boys and 40% girls, consistent with the higher prevalence of speech and language disorders in boys (National Institute on Deafness and Other Communication Disorders, 2025), whereas the control group was balanced (50% boys). Within the SSD group, boys had a higher overall error rate than girls (40% vs. 30%) and a higher substitution rate (28% vs. 22%), but the difference was not statistically significant ($p = 0.12$).

Age Distribution

Both groups were balanced by age: 50% of children were aged 3–5 years and 50% were aged 6–10 years. In the SSD group, younger children made more errors than older children (40% vs. 30%, $p < 0.01$), particularly substitutions and omissions, and error frequency decreased moderately with age ($r = -0.45$, $p < 0.01$).

In children with SSD aged 6–10 years, distortions accounted for 15% of errors, suggesting that articulation difficulties persist despite continuing speech motor development.

SSD Severity

Severity was rated by therapists as mild (25%), moderate (50%) or severe (25%). Severe cases had the highest error rate (45%), with substitutions in 30% and omissions in 25% of samples.

Moderate cases had an error rate of 35%, with omissions in 15% of samples, and mild cases had an error rate of 25%, mostly substitutions (20%).

Dataset Structure and Availability

The dataset consists of three components:

1. Audio files: 10,000 WAV files organised by group and task (e.g., /audio/SSD/word/) and named by participant code, task type and item number (e.g., P001_word_001.wav).
2. Metadata: CSV files containing each participant's age, sex, SSD severity, language background and error counts by type; participant codes link each row to the corresponding audio files.
3. Transcriptions: one text file per audio file, with the same base name (e.g., P001_word_001.txt), containing the IPA transcription validated by trained linguists.

The total size of the dataset is approximately 5 GB, of which more than 80% is audio. The release also includes the recording protocol (recording conditions, task lists and ethical procedures), Python scripts for denoising, segmentation and acoustic feature extraction, and example notebooks for phonological analysis and for baseline machine-learning experiments with TensorFlow.

Data Availability

The dataset (version 1.0) is deposited in Zenodo with the persistent identifier <https://doi.org/10.5281/zenodo.14589203>. Transcriptions, metadata, protocols and code are released under the CC BY 4.0 licence; the code is also available at <https://github.com/aben-ayu/kazakh-child-ssd>. Because children's voices are potentially identifying, the audio files are available under the CC BY-NC 4.0 licence on request, after signing a data use agreement that restricts use to non-commercial research and prohibits re-identification, in accordance with the consent given by parents and the conditions of the ethics approval.

Summary of Results

Compared with controls, children with SSD had higher mean F0 (320 vs. 300 Hz), F1 (900 vs. 850 Hz) and F2 (2,200 vs. 2,100 Hz) and longer articulation duration (2.3 vs. 1.9 s), with small-to-moderate effects for the spectral measures ($d = 0.44$ – 0.53) and a large effect for duration ($d = 0.88$). Developmental and anatomical differences may account for these results.

The overall error rate was 35% in the SSD group and 5% in the control group; substitutions (25%) and omissions (15%) were the most frequent error types.

Boys made up 60% of the SSD group, and errors were most frequent at ages 3–5 years, in line with reports from other settings.

In each group, 30% of children were bilingual (Kazakh–Russian). Apart from some distinctive substitutions, possibly reflecting cross-language interference, their error patterns did not differ systematically from those of monolingual children.

The final dataset contains 10,000 annotated audio files with metadata and is suitable for phonological analysis and machine-learning research.

The results reveal Kazakh-specific phonological features and variation associated with age, sex and severity, and the dataset may support future diagnostic and therapeutic tools.

DISCUSSION

Kazakh-speaking children with SSD had higher mean fundamental and formant frequencies than controls, which may reflect anatomical differences and differences in the development of speech motor control. The SSD group had an overall error rate of 35%, compared with 5% in typically developing children. Substitutions and omissions were considerably more frequent in younger children, which is consistent with developmental expectations (McLeod & Crowe, 2018) and supports the value of early intervention, since untreated speech and language difficulties may have long-term consequences (Langbecker et al., 2020). In addition, 60% of children with SSD were boys, in line with the higher prevalence reported in boys (National Institute on Deafness and Other Communication Disorders, 2025).

Substitutions and omissions are also the most common error types in other child speech corpora. Unlike these corpora, the present dataset contains Kazakh-specific sounds such as the uvular /q/, which helps to address the language gap. Procedures similar to those used for the Czech LANNA databases are useful in low-resource contexts, but Czech data cannot represent Kazakh phonology (Diepeveen et al., 2022; Grill & Tučková, 2016).

Future versions of the dataset should include memory and cognitive measures and should align the collected variables with proposals for a minimal SSD dataset (Morgan et al., 2021). Resources focused on intervention outcomes (Harding et al., 2024) complement, but cannot replace, speech recordings as reference data for diagnosis.

The recordings can support AI-based diagnostic and assistive tools, such as automatic speech recognition systems adapted to Kazakh phonology that detect SSD-related sound errors. Such tools could be particularly valuable in regions where speech-language therapists are scarce.

An open format would also allow the dataset to be combined with multilingual SSD datasets for cross-linguistic comparison and international collaboration, as illustrated by the Nordic child speech corpora (Olstad et al., 2024). Data from Kazakh–Russian bilingual children may help to determine whether particular error patterns reflect bilingual development or genuine features of SSD.

Limitations

- The sample of 100 children, all recruited in Almaty, is too small to generalise to the whole population, particularly to children in rural areas.

- No validated Kazakh assessment tools exist, so diagnosis and severity rating relied on a non-standardised assessment developed by the team, which may reduce diagnostic accuracy.

Although recordings were denoised, residual background noise remains in a small proportion of files. The cohort did not include children with co-occurring conditions such as autism spectrum disorder or developmental language disorder, so these profiles are not represented. Finally, the release of child voice recordings carries a residual risk of re-identification, which is reduced but not eliminated by pseudonymisation and controlled access.

Future Directions

Future data collection should include children from rural areas and children with co-occurring conditions.

Standardised, Kazakh-specific assessment measures should be developed and used for diagnosis and severity rating.

Deep neural network methods could be applied to classify SSD using this dataset, and the data could be combined with other child speech corpora, such as the Nordic corpora, for cross-language analysis (Olstad et al., 2024).

CONCLUSION

This paper describes the construction of an open dataset of speech from Kazakh-speaking children with and without SSD, comprising 10,000 audio files from 100 children aged 3–10 years (50 with SSD and 50 controls). The acoustic and phonetic analyses show higher spectral values and characteristic substitution patterns in the SSD group and illustrate how the dataset can support research on child speech development in Kazakh, including language-specific features such as uvular consonants and vowel harmony.

Significance. Existing SSD datasets, including multilingual ones, do not include Kazakh, and existing Kazakh speech resources contain adult speech only (Mussakhojayeva et al., 2021; Olstad et al., 2024). The present dataset makes it possible to study Kazakh-specific SSD characteristics and language-specific error patterns (Diepeveen et al., 2022).

The dataset is also of practical value. It can be used to develop AI-based diagnostic tools, including automatic speech recognition, to improve access to assessment in areas with few speech-language therapists, and to build culturally and linguistically adapted digital applications that parents and educators can use to support children's speech, literacy and social development.

It also enables cross-linguistic study of universal and language-specific features of SSD and supports international collaboration (Olstad et al., 2024), as well as the training of speech-language therapists in Kazakhstan.

Future work should extend the dataset to rural populations and children with co-occurring disorders, develop and standardise Kazakh assessment tools, and apply machine learning to automated SSD detection in local services and rehabilitation centres.

Overall, the study provides a methodology for compiling SSD datasets for Kazakh-speaking children and makes Kazakh data available for international research on child speech. The approach may also be transferable to other low-resource languages.

REFERENCES

- Benway, N. R., Preston, J. L., Hitchcock, E., Rose, Y., Salekin, A., Liang, W., & McAllister, T. (2023). Reproducible speech research with the artificial intelligence-ready PERCEPT corpora. *Journal of Speech, Language, and Hearing Research*, 66(6), 1986–2009. https://doi.org/10.1044/2023_JSLHR-22-00343
- Boersma, P., & Weenink, D. (2024). *Praat: Doing phonetics by computer* (Version 6.4) [Computer software]. <https://www.praat.org>
- Child Mind Institute. (2025). *Speech and language disorders*. <https://childmind.org/topics/speech-and-language-disorders/>
- Diepeveen, S., Terband, H., van Haaften, L., van de Zande, A. M., Megens-Huigh, C., de Swart, B., & Maassen, B. (2022). Process-oriented profiling of speech sound disorders. *Children*, 9(10), Article 1502. <https://doi.org/10.3390/children9101502>
- Grill, P., & Tučková, J. (2016). Speech databases of typical children and children with SLI. *PLOS ONE*, 11(3), Article e0150365. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0150365>
- Harding, S., Burr, S., Cleland, J., Stringer, H., & Wren, Y. (2024). Outcome measures for children with speech sound disorder: An umbrella review. *BMJ Open*, 14(4), Article e081446. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2023-081446>
- Langbecker, D., Snoswell, C. L., Smith, A. C., Verboom, J., & Caffery, L. J. (2020). Long-term effects of childhood speech and language disorders: A scoping review. *South African Journal of Childhood Education*, 10(1), Article a801. <https://doi.org/10.4102/sajce.v10i1.801>

McLeod, S., & Crowe, K. (2018). Children's consonant acquisition in 27 languages: A cross-linguistic review. *American Journal of Speech-Language Pathology*, 27(4), 1546–1571. https://doi.org/10.1044/2018_AJSLP-17-0100

Morgan, L., Overton, S., Bates, S., Titterton, J., & Wren, Y. (2021). Making the case for the collection of a minimal dataset for children with speech sound disorder. *International Journal of Language & Communication Disorders*, 56(5), 1097–1107. <https://doi.org/10.1111/1460-6984.12649>

Mussakhoyayeva, S., Janaliyeva, A., Mirzakhmetov, A., Khassanov, Y., & Varol, H. A. (2021). KazakhTTS: An open-source Kazakh text-to-speech synthesis dataset. In *Proceedings of Interspeech 2021* (pp. 2786–2790). ISCA. <https://doi.org/10.21437/Interspeech.2021-2124>

National Institute on Deafness and Other Communication Disorders. (2025). *Quick statistics about voice, speech, language*. <https://www.nidcd.nih.gov/health/statistics/quick-statistics-voice-speech-language>

Olstad, A. M. H., Smolander, A., Strömbergsson, S., Ylinen, S., Lehtonen, M., Kurimo, M., Getman, Y., Grósz, T., Cao, X., Svendsen, T., & Salvi, G. (2024). Collecting linguistic resources for assessing children's pronunciation of Nordic languages. In *Proceedings of the 2024 Joint International Conference on Computational Linguistics, Language Resources and Evaluation (LREC-COLING 2024)* (pp. 3529–3537). ELRA and ICCL. <https://aclanthology.org/2024.lrec-main.313>

Shriberg, L. D., & Kwiatkowski, J. (1982). Phonological disorders III: A procedure for assessing severity of involvement. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 47(3), 256–270. <https://doi.org/10.1044/jshd.4703.256>

Stackhouse, J., & Wells, B. (1997). *Children's speech and literacy difficulties: A psycholinguistic framework*. Whurr.

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	Абен А.Б. – ғылым магистрі, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Абен А.Б. – магистр наук, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Aben A.B. – Master of Science, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan E-mail: arypzhana.aben@ayu.edu.kz
2	Ғабдуллаұлы Дінмұхаммед – магистрант, Инженерия факультетінің Компьютерлік инженерия кафедрасы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Ғабдуллаұлы Динмухаммед – магистрант, кафедра компьютерной инженерии факультета инженерии, Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Gabdullauly Dinmukhammed – Master's student, Department of Computer Engineering, Faculty of Engineering, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan E-mail: gabdulladimas@gmail.com

Н.Т. РУСТАМОВ¹, Ш.А. БАБАХАН², Б.С. МУХАММАДИЕВ³

¹Международный казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, Туркестан, Казахстан

E-mail: nassim.rustamov@ayu.edu.kz

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

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

³Джизакский политехнический институт, Джизак, Узбекистан

E-mail: muhammadievbaxtiyr@gmail.com

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНЕРЦИЯ (LC-КОНТУР) В МИКРОСЕТЯХ

Аннотация. В работе рассматривается вопрос хранения электрической энергии в микросетях на основе использования незатухающего колебательного контура в качестве электромагнитной инерции. Использование этой инерции в микросетях даёт возможность повышения эффективности накопления и перераспределения энергии в автономных и распределённых энергетических системах. Предлагаемый подход ориентирован на снижение энергетических потерь, возникающих при капризах погоды, а также на обеспечение устойчивости работы микросетей в условиях переменной нагрузки. Рассматривается возможность применения колебательных процессов в качестве основы для формирования реактивного энергетического буфера. Анализируются принципы циркуляции энергии в колебательном контуре, особенности поддержания резонансного режима и условия сохранения энергетического потенциала системы. Показано, что использование незатухающего колебательного контура может способствовать повышению коэффициента полезного действия работы микросети в целом и улучшению её динамических характеристик. Полученные результаты могут быть использованы при разработке интеллектуальных энергетических систем, автономных источников электроснабжения и перспективных технологий распределённой энергетики.

Ключевые слова: гибридная микросеть, возобновляемая энергия, колебательный контур, электромагнитная инерция, реактивный буфер, управление процессами.

Н.Т. РУСТАМОВ¹, Ш.А. БАБАХАН², Б.С. МУХАММЕДИЕВ³

¹Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан

E-mail: nassim.rustamov@ayu.edu.kz

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

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

³Жизақ политехникалық институты, Жизақ қ., Өзбекстан

E-mail: muhammadievbaxtiyr@gmail.com

МИКРОЖЕЛІЛЕРДЕГІ ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИНЕРЦИЯ (LC ТІЗБЕГІ)

Аңдатпа. Жұмыста сөнбейтін тербелмелі тізбекті электромагниттік инерция ретінде пайдалану негізінде микрожелілерде электр энергиясын сақтау мәселесі қарастырылады. Бұл инерцияны микрожелілерде пайдалану автономды және таратылған

энергетикалық жүйелерде энергияны сақтау және қайта бөлу тиімділігін арттыруға мүмкіндік береді. Ұсынылған тәсіл ауа-райының қыңырлығы кезінде пайда болатын энергия шығынын азайтуға, сондай-ақ ауыспалы жүктеме жағдайында микрожелілер жұмысының тұрақтылығын қамтамасыз етуге бағытталған. Тербелмелі процестерді реактивті энергетикалық буферді қалыптастыру үшін негіз ретінде қолдану мүмкіндігі қарастырылады. Тербелмелі тізбектегі энергия айналымының принциптері, резонанстық режимді сақтау ерекшеліктері және жүйенің энергетикалық әлеуетін сақтау шарттары талданады. Сөнбейтін тербелмелі тізбекті пайдалану тұтастай алғанда микрожелінің пайдалы әсер ету коэффициентін арттыруға және оның динамикалық сипаттамаларын жақсартуға ықпал етуі мүмкін екендігі көрсетілген. Алынған нәтижелер зияткерлік энергетикалық жүйелерді, электрмен жабдықтаудың дербес көздерін және таратылған энергетиканың перспективалық технологияларын әзірлеу кезінде пайдаланылуы мүмкін.

Түйін сөздер: гибридік микрожелі, жаңартылатын энергия, тербелмелі контур, электромагниттік инерция, реактивті буфер, процесті басқару.

N.T. RUSTAMOV¹, Sh.A. BABAKHAN², B.S. MUKHAMMADIEV³

¹ Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan
E-mail: nassim.rustamov@ayu.edu.kz

² Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan
E-mail: babakhan.shokhrukh@ayu.edu.kz*

³ Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan
E-mail: muhammadievbaxtiyr@gmail.com

ELECTROMAGNETIC INERTIA (LC CIRCUIT) IN MICROGRIDS

Abstract. The paper considers the issue of storing electrical energy in microgrids based on the use of an undamped oscillatory circuit as electromagnetic inertia. Using this inertia in microgrids makes it possible to increase the efficiency of energy storage and redistribution in autonomous and distributed energy systems. The proposed approach is aimed at reducing energy losses caused by the vagaries of the weather, as well as ensuring the stability of microgrids under variable load conditions. The possibility of using oscillatory processes as a basis for the formation of reactive energy buffers is being considered. The principles of energy circulation in an oscillatory circuit, the features of maintaining a resonant regime, and the conditions for preserving the energy potential of the system are analyzed. It is shown that the use of an undamped oscillatory circuit can help to increase the efficiency of the microgrid as a whole and improve its dynamic characteristics. The results obtained can be used in the development of intelligent energy systems, autonomous power supply sources and promising distributed energy technologies.

Keywords: hybrid microgrid, renewable energy, oscillatory circuit, electromagnetic inertia, reactive buffer, process control.

ВВЕДЕНИЕ

Современное развитие электроэнергетики характеризуется активным переходом к распределённым системам генерации и интеллектуальным энергетическим сетям. Одним из ключевых направлений данного процесса является развитие микросетей, представляющих собой локальные энергетические системы, способные функционировать как совместно с централизованной сетью, так и автономно (Lasseter, 2002). Особую роль играют системы обеспечения частотной и мощностной синхронизации в функционировании микросети, ещё обеспечивающие компенсацию неустойчивости генерации, возникающей при использовании возобновляемых источников энергии.

Традиционные технологии накопления энергии основаны преимущественно на химических аккумуляторах, суперконденсаторах и электромеханических накопителях.

Однако данные системы обладают рядом недостатков, связанных с ограниченным сроком службы, деградацией материалов, тепловыми потерями и сравнительно низкой эффективностью при длительном хранении энергии (Chen et al., 2009). В связи с этим в последние годы возрастает интерес к альтернативным физическим принципам хранения и передачи энергии.

Существенное внимание уделяется резонансным и колебательным системам, в которых энергия циркулирует между электрическим и магнитным полями. Теоретические основы колебательных процессов были заложены в работах Томсона, Максвелла и Теслы, показавших возможность эффективной передачи и преобразования энергии в резонансных электрических системах (Tesla, 1892). В идеализированном LC-контуре энергия может сохраняться длительное время при минимальном уровне потерь, что представляет значительный интерес для задач энергетического накопления. К сожалению, на практике идеальных LC-контуров не бывает.

Исследования в области беспроводной передачи энергии и резонансных энергетических систем демонстрируют возможность повышения эффективности энергетического обмена за счёт поддержания резонансного режима (Kurs et al., 2007). Вместе с тем вопросы использования незатухающего колебательного контура непосредственно в качестве системы хранения энергии микросетей остаются недостаточно исследованными и требуют дальнейшего теоретического анализа (Rustamov et al., 2025).

Современные исследования микросетей показывают, что эффективность функционирования распределённых энергетических систем существенно зависит от быстродействия и энергетической устойчивости накопителей (Hatziaargyriou, 2014). В этой связи использование незатухающего колебательного контура может рассматриваться как перспективное направление, обеспечивающее снижение потерь, повышение динамической устойчивости системы и возможность быстрого перераспределения энергии между элементами микросети.

Значительный вклад в развитие теории и практики интеллектуальных энергетических систем внесли российские исследователи. В работе (Воропай, 2011) рассматриваются вопросы построения активных энергетических систем, повышения устойчивости распределённых сетей и интеграции накопителей энергии в структуру микросетей. Особое внимание уделяется адаптивности локальных энергетических комплексов и проблемам энергетической эффективности. Исследования в области электромагнитных и резонансных процессов нашли отражение в работах отечественных специалистов по электротехнике и радиофизике. В частности, в работе (Стенников и Пеньковский, 2015) подробно рассматриваются физические основы электрических цепей, колебательных процессов и резонансных режимов в электрических системах. Данные исследования представляют теоретическую основу для анализа незатухающих колебательных контуров.

Вопросы передачи и накопления энергии в высокочастотных и резонансных системах также исследовались в работах (Бессонов, 2007). Эта работа посвящена электродинамическим процессам и взаимодействию электрических и магнитных полей. Современные отечественные исследования в области суперконденсаторных и гибридных накопителей энергии демонстрируют актуальность поиска новых физических принципов энергонакопления для интеллектуальных микросетей (Тамм, 2003).

Таким образом, анализ отечественных и зарубежных исследований показывает, что использование незатухающего идеального колебательного контура в системах хранения энергии микросетей представляет собой перспективное направление, объединяющее методы распределённой энергетики, теорию колебаний и интеллектуальные системы управления.

Целью данной работы является исследование возможности создания реактивного энергетического буфера в микросетях на базе незатухающего колебательного контура, обеспечивающего повышение устойчивости функционирования микросетей и эффективность перераспределения энергии в условиях переменной нагрузки.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Современные микросети используют различные технологии накопления электрической энергии, каждая из которых обладает собственными физическими принципами работы, преимуществами и назначениями. Выбор конкретного типа накопителя определяется требованиями к мощности, скорости заряд-разрядных процессов, сроку службы и экономической эффективности.

Наиболее распространённым типом накопителей в микросетях являются электрохимические аккумуляторы, включая литий-ионные, свинцово-кислотные и натрий-ионные системы. Принцип их работы основан на обратимых электрохимических реакциях, обеспечивающих накопление энергии в химической форме.

К преимуществам аккумуляторов относятся высокая удельная энергоёмкость, технологическая зрелость и относительно низкая стоимость в массовом производстве. Однако их использование сопровождается деградацией электродов, ограниченным числом циклов заряд-разряд и потерями при длительном хранении энергии (Chen et al., 2009; Dunn et al., 2011; Дзензерский и др., 2011).

Основное ограничение связано с низкой удельной энергоёмкостью (Conway, 1999; Simon & Gogotsi, 2008; Tarascon & Armand, 2001). К механическим системам относятся гидроаккумулирующие станции, маховиковые накопители и системы сжатого воздуха. Энергия преобразуется в потенциальную или кинетическую форму. Преимуществами являются долговечность и высокая мощность, однако ограничением выступают габариты и инфраструктурная сложность (Ibrahim et al., 2008; Miller & Simon, 2008).

Анализ существующих технологий показывает, что все они основаны на преобразовании электрической энергии в промежуточные формы — химическую, механическую или магнитную. Это приводит к неизбежным потерям и снижению эффективности при длительном хранении.

Это обосновывает необходимость исследования альтернативных решений, включая концепцию незатухающего колебательного контура как потенциальной основы нового класса реактивных энергонакопительных систем для микросетей.

В предлагаемой концепции есть электрическая шина, когда энергия на шине падает — система отдаёт, когда растёт — система забирает, причём это происходит мгновенно и управляемо (рис. 1).

Типичная кольцевая микросеть выглядит примерно так:

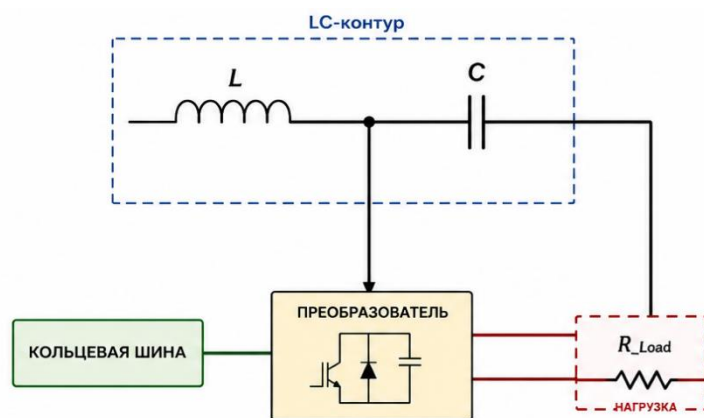


Рисунок 1. Общий вид реактивного инерционного энергетического буфера.

Шина распределяет энергию между источниками и потребителями. Когда мощность колеблется (например, при изменении солнечного потока или пуске двигателя), напряжение на шине «плавает» → теряется КПД и устойчивость.

Схема состоит из трёх частей:

1. Шина. Обозначим: напряжение: $V(t)$; мощность нагрузки $P(t)$

2. Накопитель энергии (буфер). Можно обобщить как запас энергии: $E(t)$

Эти устройства реализуются в виде LC-контура: индуктивность (магнитное поле); конденсатор (электростатика).

3. Управляемый преобразователь. Он регулирует поток мощности: $P_l(t)$

А баланс энергосистемы

$$\frac{dE(t)}{dt} = P_{in}(t) - P_{out}(t) \quad (1)$$

В этой системе: если шина «избыточна» $\rightarrow P_{BT} > 0$; если шина «проседает» $\rightarrow P_{BH} > 0$.

Энергию шины можно описать через эквивалентную ёмкость $C_{шн}$:

$$C_{шн} \frac{dV(t)}{dt} = I_{gen}(t) - I_{load}(t) - I_{buffer}(t) \quad (2)$$

где $I_{буф}(t)$ — ток в/из буфера.

Эта система управляется следующим образом. Описываем обратную связь по отклонению энергии.

Вводим:

$$\Delta V(t) = V(t) - V_{ref} \quad (3)$$

Тогда управление:

$$P_{ctrl}(t) = -k \cdot \Delta V(t) - \tau \frac{d(\Delta V)}{dt} \quad (4)$$

В предлагаемой концепции «инерция» равна динамической задержке реакции системы, которая математически выражается как:

Вторая производная (аналог массы в механике):

$$\tau \frac{d^2 E(t)}{dt^2} + \frac{dE(t)}{dt} = P_{in}(t) - P_{out}(t) \quad (5)$$

Это есть механический аналог массы m ; электрической индуктивности L .

Электрический аналог инерции — индуктивность:

$$V = L \frac{dI}{dt} \quad (6)$$

То есть ток не может измениться мгновенно $\rightarrow$ появляется «электромагнитная инерция».

Объединяем:

$$C_{bus} \frac{dV}{dt} = I_{gen} - I_{load} - I_{buf} \quad (7)$$

Реактивный буфер (инерционный накопитель):

$$L \frac{dI_{buf}}{dt} + RI_{buf} = V_{ctrl} \quad (8)$$

Управляется с помощью V_{ctrl}

$$V_{ctrl} = -k_1(V - V_{ref}) - k_2 \frac{dV}{dt} \quad (9)$$

Это — замкнутая динамическая система второго порядка с отрицательной обратной связью по напряжению шины, где индуктивность играет роль «инерции», а управление создаёт эффект активного демпфирования.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

Добавим колебательный контур, подключённый через управляемый преобразователь (инвертор или DC-DC-модуль) (рис. 2):



Рисунок 2. LC-контур, кольцевая шина и преобразователь.

L — индуктивность (обычно сверхпроводящая катушка или дроссель низких потерь); C — конденсатор большой ёмкости (или банка конденсаторов); преобразователь управляет обменом энергией между LC-контуром и шиной.

Эта система работает следующим образом. При избытке энергии (напряжение в сети растёт): преобразователь направляет ток в LC-контур; энергия накапливается в виде колебаний между L и C .

При дефиците энергии (напряжение падает): преобразователь «разряжает» контур в шину; LC-система мгновенно компенсирует провал мощности.

Контур не хранит энергию долго, но работает как реактивный резонансный буфер, сглаживая пульсации мощности с частотой 50–400 Гц и выше.

Пример. Допустим, у нас микросеть напряжением 400 В DC, и мы хотим создать буфер, способный мгновенно компенсировать 10 кДж (примерно 2,8 Вт·ч).

Пусть LC-контур настроен на резонанс 400 Гц.

$$E = \frac{1}{2} C U^2 = 10\,000 \text{ Дж} \quad (10)$$

$$C = \frac{2E}{U^2} = \frac{20\,000}{(400)^2} = 0,125 \text{ Ф} \quad (11)$$

(То есть 125 мФ — довольно крупная ёмкость.)

Теперь подберём L :

$$f = \frac{1}{2\pi\sqrt{LC}} \Rightarrow L = \frac{1}{(2\pi f)^2 C} \approx 1,27 \text{ мкГн} \quad (12)$$

Таким образом:

$L \approx 1,27 \text{ мкГн}$

$C = 125 \text{ мФ}$

дают резонанс 400 Гц, где энергия 10 кДж колеблется между полями.

При этом быстрые колебания нагрузки (миллисекунды) компенсируются LC-буфером. Уменьшаются пиковые токи и потери на реактивной мощности. Повышается стабильность

частоты и напряжения. Основной накопитель (например, батарея) работает в более «спокойном» режиме — срок службы увеличивается.

Таким образом, «управляемый буфер электромагнитная инерция» в строгом виде — это динамически управляемый LC-буфер с обратной связью, который имитирует массу (инерцию) в энергетическом пространстве и сглаживает колебания мощности шины (рис. 3).

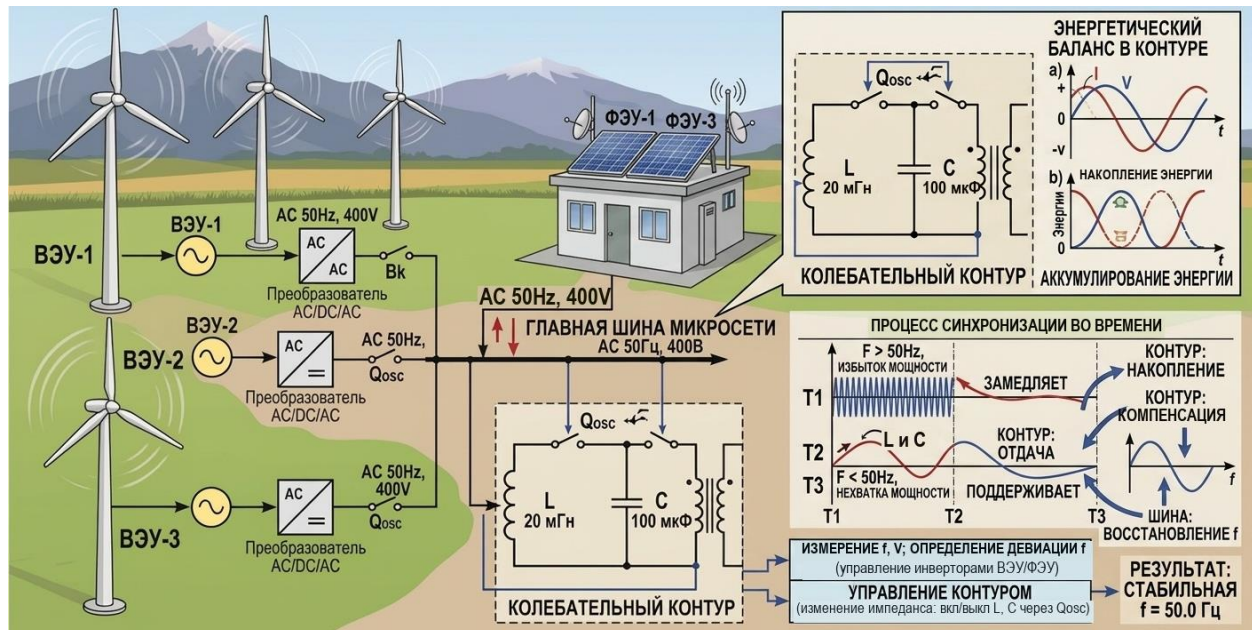


Рисунок 3. Управляемая электромагнитная инерция для синхронизации и стабилизации микросети.

Разберём работу этой системы по «фазам» суток. По сути, перед нами хроника того, как умная система управления балансирует энергию каждую секунду, чтобы потребитель даже не заметил скачков ветра или захода солнца. Такая работа предложенной системы показана на рис. 4.

Ночь и раннее утро. Режим «Дефицит»: Что происходит на графике: Жёлтый слой (генерация) находится на минимуме — работают только ветряки. При этом красный слой (нагрузка) имеет базовое потребление; поведение буфера (бирюзовый слой): он уходит ниже нуля (в отрицательную зону); связь со схемой: включается режим «разрядка буфера ($V_{\text{шн}}$ низкий)». Двухнаправленный DC-DC преобразователь забирает энергию из накопителя (LC-буфер) и «впрыскивает» её в общую шину, чтобы удерживать напряжение $V_{\text{шн}}$ от падения.

Это не просто «накопитель», а активный энергетический демпфер шины, который имитирует инерцию системы через управление потоком мощности.

Дневной пик. Режим «Избыток»: Что происходит на графике: Жёлтый слой резко взлетает вверх — это проснулись солнечные панели. Генерация становится значительно выше красной линии нагрузки; поведение буфера (бирюзовый слой): он пересекает ноль и уходит высоко вверх (в положительную зону); Связь со схемой: Работает режим «зарядка буфера ($V_{\text{шн}}$ высокий)». Система управления видит, что энергии слишком много и напряжение на шине начинает расти. Преобразователь тут же переключается в режим зарядки, «впитывая» излишки тока в буфер.

Вечерний пик. Критический момент. Что происходит на графике. Солнце заходит (жёлтый слой падает), а люди возвращаются домой или на заводах включается вечерняя смена (красный слой — нагрузка — достигает своего максимума). Разрыв между ними огромен; LC-буфер (бирюзовый слой) падает в глубокий минус. Микроколебания (шероховатость линий). Обратите внимание, что линии не идеально гладкие, они «дрожат». Это мгновенные порывы ветра или включение/выключение мелких приборов в нагрузке.

На схеме за их сглаживание отвечает блок «Электромагнитная инерция» (LC-контур). Он работает как гидравлический амортизатор: пока электроника (DC-DC преобразователь) «думает» и переключает режимы, LC-контур за счёт энергии магнитного поля индуктивности и заряда конденсатора мгновенно гасит эти микросекундные всплески тока.

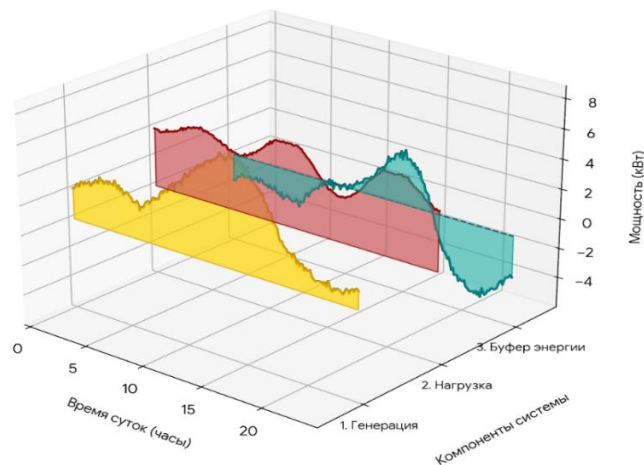


Рисунок 4. Объёмная модель динамики потоков энергии.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В работе рассмотрена концепция реактивной управляемой электромагнитной системы инерции и буферизации энергии, реализуемой как динамическая система с обратной связью по состоянию электрической шины. Показано, что предложенная структура может быть интерпретирована как активный энергетический буфер, основанный на двунаправленном преобразовании мощности между шиной и накопителем энергии.

В отличие от классических пассивных накопителей, рассматриваемая система обладает свойством управляемой «энергетической инерции», которая формируется за счёт взаимодействия элементов накопления (индуктивных и/или ёмкостных) и алгоритма управления. Это позволяет системе не только хранить и мгновенно отдавать энергию, но и динамически сглаживать колебания мощности, возникающие в нагрузке и источниках питания.

Установлено, что поведение системы может быть описано как замкнутый динамический процесс второго порядка с отрицательной обратной связью, где параметры управления определяют степень демпфирования и быстродействия энергетического обмена. Такой подход позволяет интерпретировать процесс буферизации энергии как аналог инерционного движения в механических системах, но в энергетическом пространстве электрической шины.

Таким образом, предложенная концепция может быть использована для разработки систем стабилизации энергопотоков в микросетях, гибридных накопителях энергии и интеллектуальных энергетических контурах с адаптивным управлением.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

- Chen, H., Cong, T. N., Yang, W., Tan, C., Li, Y., & Ding, Y. (2009). Progress in electrical energy storage system: A critical review. *Progress in Natural Science*, 19(3), 291–312. <https://doi.org/10.1016/j.pnsc.2008.07.014>
- Conway, B. E. (1999). *Electrochemical supercapacitors: Scientific fundamentals and technological applications*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-1-4757-3058-6>
- Dunn, B., Kamath, H., & Tarascon, J.-M. (2011). Electrical energy storage for the grid: A battery of choices. *Science*, 334(6058), 928–935. <https://doi.org/10.1126/science.1212741>

- Hatzigargyriou, N. (Ed.). (2014). *Microgrids: Architectures and control*. Wiley; IEEE Press. <https://doi.org/10.1002/9781118720677>
- Ibrahim, H., Ilinca, A., & Perron, J. (2008). Energy storage systems—Characteristics and comparisons. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 12(5), 1221–1250. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2007.01.023>
- Kurs, A., Karalis, A., Moffatt, R., Joannopoulos, J. D., Fisher, P., & Soljačić, M. (2007). Wireless power transfer via strongly coupled magnetic resonances. *Science*, 317(5834), 83–86. <https://doi.org/10.1126/science.1143254>
- Lasseter, R. H. (2002). MicroGrids. In *2002 IEEE Power Engineering Society Winter Meeting: Conference proceedings* (Vol. 1, pp. 305–308). IEEE. <https://doi.org/10.1109/PESW.2002.985003>
- Miller, J. R., & Simon, P. (2008). Electrochemical capacitors for energy management. *Science*, 321(5889), 651–652. <https://doi.org/10.1126/science.1158736>
- Rustamov, N. T., Meirbekova, O. D., & Babakhan, Sh. A. (2025). Distributed storage of electrical energy in an oscillating circuit. In *National Energy Independence in the Age of Renewable Energy and Digital Technologies: Innovations, Prospects and Social Impact in the Fergana Region: Proceedings of the International Scientific-Technical Conference* (pp. 400–407).
- Simon, P., & Gogotsi, Y. (2008). Materials for electrochemical capacitors. *Nature Materials*, 7(11), 845–854. <https://doi.org/10.1038/nmat2297>
- Tarascon, J.-M., & Armand, M. (2001). Issues and challenges facing rechargeable lithium batteries. *Nature*, 414(6861), 359–367. <https://doi.org/10.1038/35104644>
- Tesla, N. (1892). Experiments with alternate currents of high potential and high frequency. *Journal of the Institution of Electrical Engineers*, 21(97), 51–162. <https://doi.org/10.1049/jiee-1.1892.0002>
- Бессонов, Л. А. (2007). *Теоретические основы электротехники. Электрические цепи*. Гардарики.
- Воропай, Н. И. (2011). Интеллектуальные электроэнергетические системы: концепция, состояние, перспективы. *Автоматизация и ИТ в энергетике*, (3), 11–16.
- Дзензерский, В. А., Тарасов, С. В., и Костюков, И. Ю. (2011). *Ветроустановки малой мощности*. Наукова думка.
- Стенников, В. А., и Пеньковский, А. В. (2015). Активные энергетические системы и проблемы их управления. *Известия Российской академии наук. Энергетика*, (1), 3–14.
- Тамм, И. Е. (2003). *Основы теории электричества*. Физматлит.

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 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, г. Туркестан, Казахстан Rustamov Nassim Tulegenovich – Doctor of Technical Sciences, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan E-mail: nassim.rustamov@ayu.edu.kz ORCID: 0000-0002-6437-6600
2	Бабахан Шохрух Абдилкасымұлы – аға оқытушы, Қожа Ахмет Ясауи атындағы Халықаралық қазақ-түрік университеті, Түркістан қ., Қазақстан Бабахан Шохрух Абдилкасымұлы – старший преподаватель, Международный

№	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
	казахско-турецкий университет имени Ходжи Ахмеда Ясави, г. Туркестан, Казахстан Babakhan Shokhrukh Abdilkasimuli – Senior Lecturer, Khoja Akhmet Yassawi International Kazakh-Turkish University, Turkestan, Kazakhstan E-mail: babakhan.shokhrukh@ayu.edu.kz ORCID: 0000-0002-7723-0045
3	Мұхаммедиев Бақтияр Сапарұлы – «Метрология және стандарттау» кафедрасы доцентінің м.а., Жизақ политехникалық институты, Жизақ қ., Өзбекстан Мухаммадиев Бахтияр Сапарович – и.о. доцента кафедры «Метрология и стандартизация», Джизакский политехнический институт, г. Джизак, Узбекистан Mukhammadiev Bakhtiyar Saparovich – Acting Associate Professor, Department of Metrology and Standardization, Jizzakh Polytechnic Institute, Jizzakh, Uzbekistan E-mail: muhammadievbaxtiyr@gmail.com ORCID: 0000-0001-9143-7854

МАЗМҰНЫ

А.Е. СҰЛТАНӘЛІ, Г.Н. КАЗБЕКОВА

БІЛІМ АЛУШЫЛАРДЫҢ ОҚУ ҮЛГЕРІМІНЕ ӘСЕР ЕТЕТІН ФАКТОРЛАРДЫ
МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ ӘДІСТЕРІМЕН ТАЛДАУ ЖӘНЕ БОЛЖАУ _____ 5-14

Б.А. АБДУВАХАПОВ, Н.М. ЖУНИСОВ, Ы.Қ. АБДРАЗАХ

УНИВЕРСИТЕТТІК ОҚЫТУДАҒЫ ГЕНЕРАТИВТІ ЖАСАНДЫ ИНТЕЛЛЕКТ ЖӘНЕ
СТУДЕНТТЕРДІҢ ТАНЫМДЫҚ ДЕРБЕСТІГІН САҚТАУ ШАРТТАРЫ _____ 15-27

А.Б. АБЕН, Д. ҒАБДУЛЛАҰЛЫ

ҚАЗАҚ БАЛАЛАРЫНДАҒЫ СӨЙЛЕУ ДЫБЫСЫ БҰЗЫЛУЫНА АРНАЛҒАН АШЫҚ
КӨЗДІ ДЕРЕКТЕР ЖИЫНЫН ӘЗІРЛЕУ _____ 28-40

Н.Т. РУСТАМОВ, Ш.А. БАБАХАН, Б.С. МҰХАММЕДИЕВ

МИКРОЖЕЛІЛЕРДЕГІ ЭЛЕКТРОМАГНИТТІК ИНЕРЦИЯ (LC ТІЗБЕГІ) _____ 41-50

МАЗМҰНЫ _____ 51-53

CONTENT

A.Ye. SULTANALI, G.N. KAZBEKOVA

ANALYSIS AND PREDICTION OF FACTORS AFFECTING STUDENT ACADEMIC
PERFORMANCE USING MACHINE LEARNING METHODS _____ 5-14

B.A. ABDUVAKHAPOV, N.M. ZHUNISOV, Y.K. ABDRAZAKH

GENERATIVE ARTIFICIAL INTELLIGENCE IN UNIVERSITY LEARNING AND
CONDITIONS FOR PRESERVING STUDENTS' COGNITIVE AUTONOMY _____ 15-27

A.B. ABEN, D. GABDULLAULY

DEVELOPING AN OPEN-SOURCE DATASET FOR SPEECH SOUND DISORDERS IN
KAZAKH CHILDREN _____ 28-40

N.T. RUSTAMOV, Sh.A. BABAKHAN, B.S. MUKHAMMADIEV

ELECTROMAGNETIC INERTIA (LC CIRCUIT) IN MICROGRIDS _____ 41-50

CONTENT _____ 51-53

СОДЕРЖАНИЕ

А.Е. СУЛТАНАЛИ, Г.Н. КАЗБЕКОВА

АНАЛИЗ И ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ФАКТОРОВ, ВЛИЯЮЩИХ НА УСПЕВАЕМОСТЬ
ОБУЧАЮЩИХСЯ, МЕТОДАМИ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ _____ 5-14

Б.А. АБДУВАХАПОВ, Н.М. ЖУНИСОВ, Ы.К. АБДРАЗАХ

ГЕНЕРАТИВНЫЙ ИСКУССТВЕННЫЙ ИНТЕЛЛЕКТ В УНИВЕРСИТЕТСКОМ
ОБУЧЕНИИ И УСЛОВИЯ СОХРАНЕНИЯ ПОЗНАВАТЕЛЬНОЙ САМОСТОЯТЕЛЬНОСТИ
СТУДЕНТОВ _____ 15-27

А.Б. АБЕН, Д. ГАБДУЛЛАУЛЫ

РАЗРАБОТКА ОТКРЫТОГО НАБОРА ДАННЫХ ПО НАРУШЕНИЯМ ЗВУКОВОЙ РЕЧИ
У КАЗАХСКИХ ДЕТЕЙ _____ 28-40

Н.Т. РУСТАМОВ, Ш.А. БАБАХАН, Б.С. МУХАММАДИЕВ

ЭЛЕКТРОМАГНИТНАЯ ИНЕРЦИЯ (LC-КОНТУР) В МИКРОСЕТЯХ _____ 41-50

СОДЕРЖАНИЕ _____ 51-53

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.

30.09.2026 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 4.

Таралымы 110 дана. Тапсырыс 145.