

УДК 004.85:373.3/.5:37.015.3
МРНТИ 28.23.37

<https://doi.org/10.55452/1998-6688-2026-23-2-353-364>

^{1*}Молдагулова А.Н.,

к.ф.-м.н., профессор, ORCID ID: 0000-0002-1596-561X,

*e-mail: a.moldagulova@satbayev.university

¹Касенхан А.М.,

PhD, ассоциированный профессор, ORCID ID: 0000-0002-6355-9544,

e-mail: a.kassenkhan@satbayev.university

²Утебаев К.А.,

магистрант, ORCID ID: 0009-0004-3032-5049,

e-mail: utebayevkuat@gmail.com

²Изтурган Н.Б.,

магистрант, ORCID ID: 0009-0001-7667-9561,

e-mail: tasnur2002@gmail.com

¹Казахский национальный исследовательский технический
университет им. К.И. Сатпаева, г. Алматы, Казахстан

²Алматинский филиал Национального исследовательского ядерного
университета «МИФИ», г. Алматы, Казахстан

ИССЛЕДОВАНИЕ МОДЕЛЕЙ МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ НАВЫКОВ КРИТИЧЕСКОГО МЫШЛЕНИЯ УЧАЩИХСЯ

Аннотация

В данной статье изучается потенциал использования методов машинного обучения для прогнозирования уровня критического мышления учащихся на основе академических и поведенческих данных. Хотя критическое мышление широко признано важнейшим навыком в современном образовании, его прямая оценка по-прежнему затруднена. Целью исследования является выявление взаимосвязи между уровнем развития критического мышления и измеримыми факторами, такими как академическая успеваемость, участие во внеклассных мероприятиях и выбор учебных курсов. Был собран и обработан набор данных из 500 анонимных профилей учащихся для извлечения ключевых характеристик. Были разработаны и оценены с использованием стандартных метрик эффективности три модели: линейная регрессия, дерево решений и случайный лес-регрессор. Модель случайного леса продемонстрировала превосходную прогностическую эффективность, достигнув значения R^2 0,84 по сравнению с 0,65 для дерева решений и 0,37 для линейной регрессии. Результаты исследования свидетельствуют о том, что академические достижения учащихся, выбор курсов и уровень их внеклассной активности в совокупности дают ценную информацию об их способностях к критическому мышлению. В целом результаты подтверждают эффективность подходов, основанных на данных, для косвенной оценки когнитивных навыков, что имеет практическое значение для разработки учебных программ, инициатив раннего вмешательства и планирования образовательной политики. Используя доступные образовательные данные, этот подход способствует разработке более масштабируемых, объективных и персонализированных методов оценки в области аналитики обучения.

Ключевые слова: машинное обучение, линейная регрессия, дерево решений, случайный лес, критическое мышление, прогнозирование уровня критического мышления студентов.

Введение

Критическое мышление стало ключевой компетенцией в современных образовательных системах, лежащей в основе эффективного решения проблем, аналитического мышления и адаптивного принятия решений. Как в академической, так и в профессиональной среде, спо-

способность критически оценивать информацию, подвергать сомнению предположения и делать логические выводы высоко ценится. Глобальные образовательные программы, такие как OECD Learning Compass и Partnership for 21st Century Skills (P21), определяют критическое мышление как важнейший результат обучения для формирования глобальной гражданственности и поддержки непрерывного обучения.

Несмотря на признанную важность, определение и измерение критического мышления остаются сложной задачей из-за его абстрактности и многогранности. Традиционные подходы к оценке, такие как эссе, стандартизированные тесты на критическое мышление и оценки, проводимые преподавателем, часто ограничены субъективностью, непоследовательностью оценок и ограниченной масштабируемостью. Эти ограничения затрудняют для преподавателей и учебных заведений эффективный мониторинг и поддержку развития учащихся в этой важнейшей области.

Достижения в области машинного обучения в сочетании с растущей доступностью образовательных данных открывают многообещающую альтернативную перспективу. Академическая успеваемость, динамика зачисления на курсы и участие во внеклассной деятельности могут служить косвенными индикаторами поведенческих и когнитивных характеристик студентов. Хотя эти факторы не оценивают критическое мышление напрямую, они могут отражать черты, связанные с когнитивными способностями высшего порядка, включая интеллектуальное любопытство, саморегуляцию обучения и открытость к разнообразному образовательному опыту.

В данном исследовании изучается, в какой степени уровень критического мышления студентов можно предсказать, используя три наблюдаемых параметра: академическую успеваемость (например, оценки и средний балл), внеклассную активность и модели выбора курсов. Был собран и обработан набор данных, состоящий из 500 студенческих записей, для извлечения релевантных признаков. Были разработаны и сравнены три прогностические модели: линейная регрессия, дерево решений и случайный лес-регрессор для оценки их способности оценивать показатели критического мышления. Среди протестированных моделей метод случайного леса продемонстрировал наибольшую предсказательную эффективность, достигнув значения R^2 0,84 и превзойдя показатели моделей дерева решений (0,65) и линейной регрессии (0,37). Эти результаты свидетельствуют о том, что значительную часть вариаций в способностях учащихся к критическому мышлению можно объяснить с помощью доступных образовательных данных. Исследование подчеркивает потенциал масштабируемых решений на основе данных в образовании, которые поддерживают персонализированное обучение, целевые стратегии вмешательства и углубленное понимание когнитивного развития различных групп учащихся.

Материалы и методы

Критическое мышление является ключевым элементом высшего образования, определяющим способность студентов принимать обоснованные решения и ориентироваться в академических и профессиональных траекториях. На протяжении десятилетий его оценка остается важным направлением исследований в области педагогической психологии и дидактики. Традиционные методы оценки в значительной степени опираются на стандартизированные инструменты, такие как тест критического мышления Уотсона–Глейзера и Калифорнийский тест критического мышления, предназначенные для измерения навыков анализа, вывода, оценки и дедуктивного рассуждения. Несмотря на структурированность этих инструментов, их применение ограничено проблемами масштабируемости, контекстной жесткости и необходимостью проведения контрольного тестирования в контролируемых условиях, что снижает их применимость для непрерывной или массовой оценки в современных образовательных средах.

В ответ на данные ограничения в последние годы внимание исследователей сместилось в сторону косвенных методов оценки критического мышления на основе наблюдаемых по-

веденческих и лингвистических индикаторов. Так, авторы работы [1] подчеркивают важность анализа рассуждений студентов, проявляющихся в академическом дискурсе и аудиторной активности. Аналогично авторы работы [2] предложили использовать методы обработки естественного языка для анализа студенческих эссе, выявляя такие лингвистические признаки, как эпистемическая модальность, контраргументация и связность дискурса, в качестве маркеров критического мышления. Несмотря на перспективность данных подходов в контексте автоматизированной оценки, они, как правило, требуют детализированных текстовых данных и сложной инженерии признаков, что ограничивает их широкую применимость.

Параллельно с этим развитие интеллектуального анализа образовательных данных и аналитики обучения стимулировало исследования, направленные на использование стандартно собираемых данных о студентах для построения прогностических моделей. В работе [3] показали, что такие академические показатели, как посещаемость, средний балл (GPA) и модели онлайн-взаимодействия, могут быть использованы для прогнозирования академической успешности и уровня вовлеченности студентов. Аналогичным образом авторы работы [4] применили демографические данные, показатели академической динамики и региональные образовательные индикаторы для анализа и прогнозирования учебных достижений студентов, тесно связанного с развитием критического мышления.

Методы машинного обучения, особенно ансамблевые модели, такие как Random Forest и Gradient Boosting, получили широкое распространение в образовательных исследованиях благодаря их устойчивости к шуму данных и способности работать с многомерными признаками. Например, авторы работы [5] использовали классификаторы Random Forest для прогнозирования риска отсева студентов, продемонстрировав, что поведенческие паттерны могут отражать скрытые когнитивные или мотивационные характеристики. Тем не менее применение методов машинного обучения непосредственно для прогнозирования уровня критического мышления на основе агрегированных академических и поведенческих показателей остается недостаточно изученным.

Значительное количество исследований посвящено роли критического мышления в формировании образовательных предпочтений студентов, с акцентом на интеграцию междисциплинарных программ, специализированных учебных модулей и цифровых образовательных сред. В работе [6] авторы пришли к выводу, что программы высшего образования, направленные на развитие аналитического мышления, способствуют более осознанному выбору студентами образовательных траекторий. В работе [7] авторы выявили, что студенты с более выраженными навыками критического мышления чаще выбирают междисциплинарные курсы. Данные выводы были дополнительно подтверждены автором работы [8], подчеркнувшим роль аналитической компетентности в осознанном выборе учебных дисциплин.

Межкультурные исследования также подтверждают влияние критического мышления на академическое принятие решений. Так, автор работы [9] показал, что специализированные курсы по развитию критического мышления в странах арабского мира повышают уверенность студентов при выборе академических направлений. В условиях онлайн-обучения в работе [10] авторы установили, что студенты, склонные к критическому анализу информации, проявляют более избирательный подход к выбору курсов. Развивая данную линию исследований, в работе [11] авторы продемонстрировали, что образовательная среда, включающая несколько курсов с акцентом на развитие критического мышления, способствует более продуманным академическим решениям.

Эффективность педагогических интервенций, направленных на развитие критического мышления, является предметом активных научных дискуссий. В работе [12] автор утверждает, что структурированные обучающие программы существенно повышают способность студентов соотносить выбор учебных дисциплин с будущими карьерными целями. Эти выводы были подтверждены метаанализом, показавшим, что образовательные программы, целенаправленно развивающие критическое мышление, способствуют более взвешенным академическим решениям [13]. Кроме того, в работе [14] авторы выявили устойчивую связь между уровнем

аналитических способностей и академической успеваемостью, отметив, что студенты с высоким уровнем критического мышления принимают более обоснованные решения при выборе курсов.

Отдельные исследования сосредоточены на педагогических практиках, способствующих развитию критического мышления. В работе [15] авторы подчеркнули значение дискуссионно-ориентированного обучения, тогда как установлено, что активное участие в онлайн-дискуссиях повышает осознанность студентов в отношении образовательного выбора [16]. Данная перспектива расширена за пределы образовательной сферы, показав, что развитие критического мышления способствует более взвешенному принятию решений в управленческой деятельности и профессиональном обучении [17].

Систематические обзоры и исследования в отдельных предметных областях также подтверждают тесную взаимосвязь между критическим мышлением и академическим планированием. В ходе систематического обзора установлено, что способность к обоснованному выбору курсов напрямую связана с уровнем развития критического мышления [17]. В медицинском образовании показано, что развитые аналитические навыки способствуют успешному академическому прогрессу и осознанному выбору специализированных направлений обучения [19]. Аналогично отмечено, что студенты с высоким уровнем критического мышления демонстрируют более высокие результаты по математике благодаря использованию стратегических подходов к обучению [20].

Взаимосвязь между цифровыми образовательными средами и развитием критического мышления также активно изучается. Установлено, что дистанционное обучение стимулирует студентов более тщательно анализировать свои образовательные траектории [21]. Показано, что обучающиеся, проходящие курсы, ориентированные на развитие критического мышления, проявляют большую ответственность при выборе образовательных направлений [22]. В работе [23] авторы подчеркнули, что разнообразие педагогических подходов способствует формированию более осознанного выбора учебных дисциплин.

Проектно-ориентированное обучение также рассматривается как эффективный механизм развития критического мышления. Установлено, что активное участие студентов в проектной деятельности способствует развитию аналитического мышления и более продуманному академическому принятию решений [24]. Наконец, в работе [25] авторы исследовали взаимосвязь между критическим мышлением, процессом принятия решений и выбором учебных дисциплин, заключив, что аналитическое мышление играет ключевую роль в образовательном планировании.

Опираясь на существующие исследования, настоящая работа расширяет предыдущие подходы за счет интеграции структурированных студенческих данных и методов прогнозного моделирования для оценки уровня критического мышления. В отличие от NLP-подходов, требующих больших объемов текстовой информации, предложенная методология использует регулярно собираемые образовательные данные, что делает ее более масштабируемой и применимой в институциональных условиях. Сравнение моделей линейной регрессии, дерева решений и алгоритма Random Forest также позволяет определить, какие методы наиболее эффективно отражают сложный и нелинейный характер когнитивных навыков в образовательных контекстах.

Представлены эмпирические результаты, полученные с использованием линейной регрессии, дерева решений и Random Forest и их применимость для образовательной оценки и когнитивного моделирования. В данном исследовании использовался набор данных, состоящий из искусственно сгенерированных академических и поведенческих записей 500 студентов бакалавриата, обучающихся по инженерным и IT-специальностям, включая компьютерные науки, информационные системы, кибербезопасность, телекоммуникации, автоматизацию и управление, математическое и компьютерное моделирование, а также робототехнику.

Синтетический набор данных был разработан для имитации реалистичных взаимосвязей между академической успеваемостью, выбором курсов, внеаудиторной деятельностью и ре-

зультатами развития критического мышления. В качестве переменных использовались средний балл успеваемости (GPA), оценки по отдельным курсам, выбор курсов по развитию гибких навыков, участие во внеаудиторных мероприятиях, лидерские роли и результаты оценки критического мышления, смоделированные по модели Уотсона-Глейзера.

Переменная *critical_thinking* была синтетически сгенерирована на основе комбинации академических и поведенческих характеристик студентов. При генерации учитывались показатели GPA, оценки по учебным дисциплинам, участие во внеаудиторной деятельности и лидерская активность. Для имитации естественной индивидуальной вариативности дополнительно вводилась случайная шумовая компонента. Итоговый показатель масштабировался в диапазон от 1 до 100 баллов и интерпретировался как условный аналог результатов тестирования по модели Уотсона-Глейзера.

Генерация синтетических данных использовалась для сохранения анонимности при сохранении статистически значимых закономерностей, подходящих для экспериментов в области машинного обучения. Каждая запись содержит сведения об академической успеваемости, выборе учебных дисциплин и участии во внеурочной деятельности (таблица 1). В качестве целевой переменной использовался синтетически сгенерированный показатель уровня критического мышления, разработанный по аналогии со шкалой теста Уотсона-Глейзера. Показатель отражал условный уровень сформированности аналитических навыков студентов и использовался для оценки способности моделей машинного обучения выявлять закономерности между характеристиками обучающихся и уровнем критического мышления.

Таблица 1 – Описание данных

Переменная	Тип	Описание
<i>critical_thinking</i>	Integer (1-100)	Целевая переменная: измеряет способность учащихся к критическому мышлению.
<i>gpa</i>	Float (2.0 - 4.0)	Средний балл (GPA) по шкале 4,0.
<i>extracurriculars</i>	Integer	Количество часов внеучебной деятельности, в которых участвует учащийся.
<i>course_selection</i>	Categorical	Кодируется как 0 (естественные науки), 1 (искусство), 2 (бизнес).
<i>extracurricular_hours_per_week</i>	Integer	Количество часов в неделю, затрачиваемых на внеучебную деятельность.
<i>advanced_courses</i>	Integer	Количество продвинутых (углубленных) учебных курсов, выбранных студентом.
<i>subject_diversity</i>	Integer	Количество различных предметных областей, изучаемых студентом; характеризует междисциплинарность образовательной траектории.
<i>leadership_role</i>	Binary (0/1)	Наличие лидерской роли в учебной или внеучебной деятельности: 1 – наличие лидерской позиции, 0 – отсутствие.

Набор данных был предварительно обработан с целью устранения пропущенных значений и нормализации числовых признаков. Для сравнительного анализа были выбраны три регрессионные модели на основании их интерпретируемости, способности выявлять нелинейные зависимости и широкой распространенности в интеллектуальном анализе образовательных данных: линейная регрессия, регрессор на основе дерева решений (DT) и регрессор Random Forest (RF). Линейная регрессия использовалась в качестве базовой модели и предполагает линейные взаимосвязи между признаками. Модель дерева решений представляет собой нелинейный, параметрический метод, способный выявлять иерархические правила принятия решений. Random Forest является ансамблем деревьев решений, который повышает обобща-

ющую способность модели за счет усреднения прогнозов и снижения эффекта переобучения. Подбор гиперпараметров для моделей DT и RF выполнялся с использованием метода перебора по сетке (grid search) и пятиблочной перекрестной проверки. Для моделей дерева решений и Random Forest подбор гиперпараметров осуществлялся методом перебора по сетке (grid search) с использованием пятиблочной перекрестной проверки. Для дерева решений варьировались параметры максимальной глубины ($\text{max_depth} \in \{3, 5, 10, \text{None}\}$), минимального числа объектов в листе ($\text{min_samples_leaf} \in \{1, 2, 5\}$) и минимального числа объектов для разбиения ($\text{min_samples_split} \in \{2, 5, 10\}$).

Для модели Random Forest дополнительно оптимизировались количество деревьев ($n_estimators \in \{50, 100, 200\}$) и число признаков, рассматриваемых при разбиении ($\text{max_features} \in \{\text{«sqrt»}, \text{«log2»}\}$). Оптимальные параметры выбирались по метрике R^2 на валидационной выборке.

Обучение моделей проводилось на 80% выборки, в то время как оставшиеся 20% использовались для тестирования. Оценка качества моделей осуществлялась с помощью коэффициента детерминации R^2 , средней абсолютной ошибки (MAE) и среднеквадратичной ошибки (RMSE). Представленный методологический конвейер демонстрирует практическую применимость использования образовательных данных и методов машинного обучения для оценки абстрактных когнитивных конструкций, таких как критическое мышление.

Результаты и обсуждение

Оценка работы моделей осуществлялась с использованием средней абсолютной ошибки (MAE), среднеквадратичной ошибки (RMSE) и коэффициента детерминации (R^2). Сводные результаты представлены в таблице 2.

Таблица 2 – Сравнение показателей эффективности моделей

Модель	MAE	RMSE	R^2 score	95% CI
Линейная регрессия	3,76	5,73	0,37	± 0.04
Дерево решений	1,161	1,61	0,65	± 0.03
Random Forest	1,22	1,22	0,84	± 0.02

Среди оцененных моделей алгоритм случайного леса показал наилучшую прогностическую эффективность с коэффициентом детерминации R^2 равным 0,84, за ним следуют модель дерева решений ($R^2 = 0,65$) и линейная регрессия ($R^2 = 0,37$). Модель случайного леса также продемонстрировала наименьшие ошибки прогнозирования с точки зрения MAE и RMSE, что указывает на превосходную обобщающую способность на тестовом наборе данных. Рисунок 1 демонстрирует сравнительную эффективность моделей по метрикам MAE, RMSE и R^2 . Видно, что Random Forest обеспечивает наименьшую ошибку и наибольшую объясняющую способность, что указывает на его преимущество при моделировании нелинейных зависимостей.

Модель Random Forest продемонстрировала наилучшие результаты благодаря способности выявлять сложные нелинейные зависимости между входными признаками и целевой переменной. Модели деревьев решений показали приемлемую эффективность, однако оказались более склонны к переобучению, в то время как линейная регрессия продемонстрировала наименьшую результативность из-за предположения о линейном характере зависимости. Для оценки устойчивости результатов дополнительно рассчитывались 95% доверительные интервалы для коэффициента детерминации (R^2). Интервалы определялись методом Bootstrap на тестовой выборке с многократной повторной выборкой наблюдений с возвращением. Для каждой Bootstrap-выборки вычислялось значение R^2 , после чего нижняя и верхняя границы доверительного интервала определялись по 2,5 и 97,5 перцентилем полученного распределения.

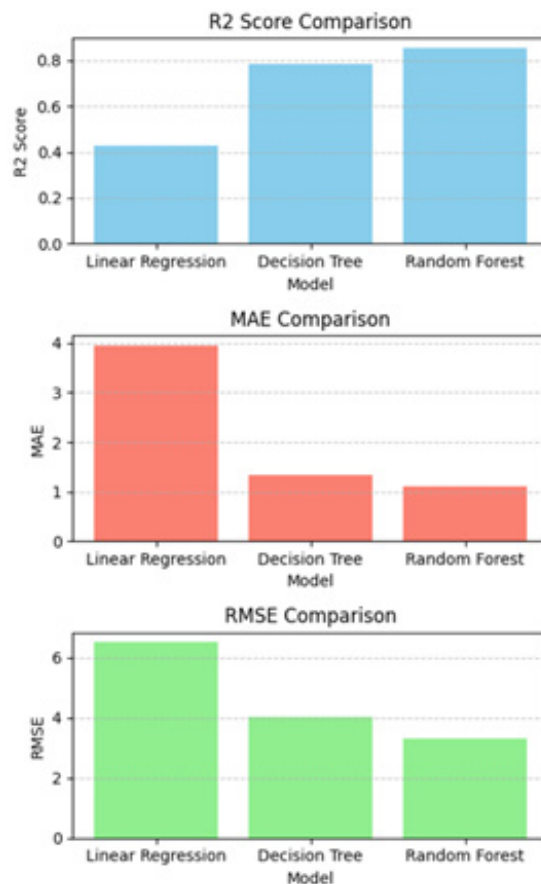


Рисунок 1 – Сравнение эффективности моделей

Узкие доверительные интервалы указывают на стабильную эффективность модели, тогда как более широкие интервалы предполагают большую изменчивость точности прогнозирования в разных выборках.

На рисунке 2 представлено сравнение фактических и прогнозируемых значений показателей критического мышления, полученных с помощью трех моделей. Рисунок 2 иллюстрирует соответствие между фактическими и предсказанными значениями. Для модели Random Forest точки наиболее плотно сгруппированы вдоль диагонали, что свидетельствует о высокой точности предсказаний. В случае линейной регрессии наблюдается большее рассеяние, что подтверждает ее ограниченную применимость.

Ключевые результаты показывают, что студенты с более высоким уровнем критического мышления чаще выбирали естественно-научные дисциплины. По сравнению с академическими показателями участие во внеучебной деятельности оказывало более слабое влияние на выбор курсов. Кроме того, между средним баллом успеваемости (GPA) и уровнем критического мышления была выявлена умеренная корреляция, что указывает на наличие скрытых факторов, влияющих на оба показателя. Анализ значимости признаков показал, что GPA является наиболее сильным предиктором уровня критического мышления, за которым следует выбор учебных дисциплин. Эти результаты согласуются с ранее полученными данными о тесной связи академической успеваемости и развития когнитивных навыков [26]. В то же время участие во внеучебной деятельности продемонстрировало наименьшую значимость, что позволяет предположить: несмотря на вклад таких активностей в развитие социальных и лидерских навыков, они не являются надежными индикаторами уровня критического мышления [27].

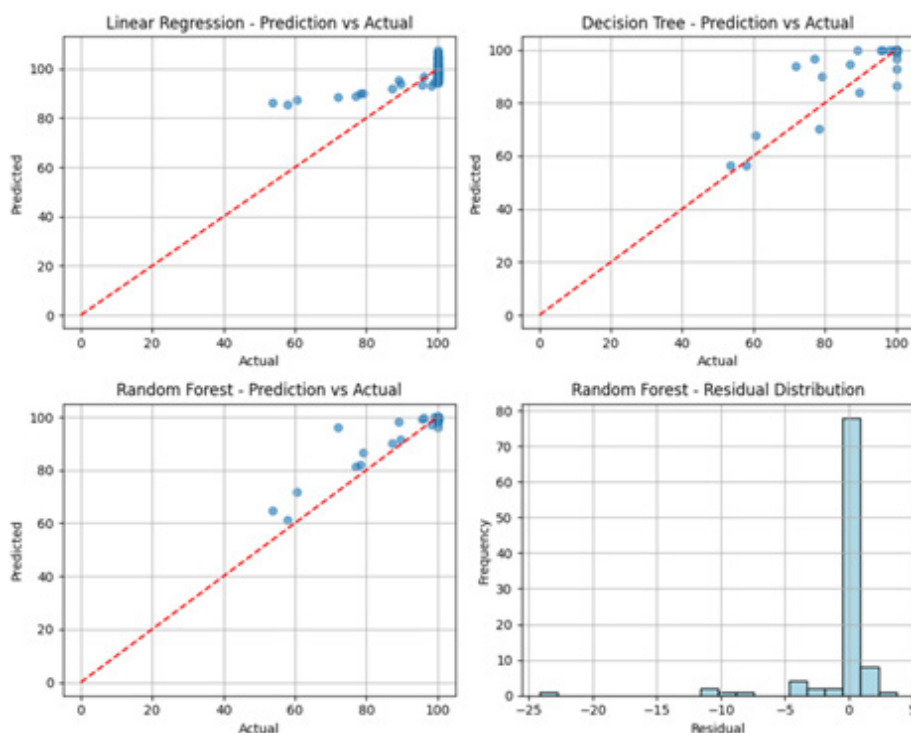


Рисунок 2 – Соотношение фактических и предсказанных значений уровня критического мышления

На рисунке 3 представлены количественные показатели важности признаков. Они подтверждают, что наибольший вклад в прогнозирование показателя критического мышления вносили академические показатели, прежде всего GPA и оценки по дисциплинам.



Рисунок 3 – Оценка важности признаков на основе модели случайного леса

Полученные результаты показали, что методы машинного обучения способны эффективно выявлять взаимосвязи между академическими и поведенческими характеристиками студентов и показателями критического мышления. Наилучшие результаты продемонстрировал алгоритм Random Forest, что подтверждает преимущества ансамблевых методов при моделировании сложных нелинейных зависимостей. Полученные данные свидетельствуют о перспективности применения методов машинного обучения для решения задач оценки и прогно-

зирования критического мышления в образовательной среде. Вместе с тем следует учитывать, что исследование выполнено на синтетическом наборе данных, поэтому полученные выводы отражают закономерности, заложенные в процессе моделирования данных, и требуют дополнительной проверки на реальных образовательных выборках.

Заключение

Настоящее исследование демонстрирует высокую прогностическую значимость выбора учебных дисциплин, участия во внеучебной деятельности и академической успеваемости при оценке уровня критического мышления студентов. Среди рассмотренных моделей алгоритм Random Forest показал наибольшую надежность, отличаясь высокой точностью и устойчивостью результатов. Его преимущества подчеркивают эффективность нелинейных моделей по сравнению с традиционными регрессионными подходами при моделировании сложных когнитивных навыков. Средний балл успеваемости (GPA) оказался наиболее значимым предиктором, что подтверждает связь высокой академической успеваемости с более развитым критическим мышлением. В то же время слабые результаты линейной регрессии дополнительно указывают на многомерный и нелинейный характер формирования когнитивных способностей.

В дальнейшем исследования могут быть направлены на расширение набора данных за счет включения дополнительных признаков, таких как читательские привычки, участие в дебатах и результаты тестов на решение проблем, а также на сравнение эффективности более сложных моделей машинного обучения, включая нейронные сети. Кроме того, интеграция данных из систем управления обучением, сетей межличностного взаимодействия, а также социально-экономических и психологических факторов может способствовать дальнейшему улучшению прогностических моделей. Применение методов глубокого обучения и объяснимого искусственного интеллекта также представляет перспективное направление для повышения точности и интерпретируемости результатов.

Информация о финансировании. В статье представлены результаты исследований, выполненных в рамках программно-целевого финансирования на 2024–2026 гг. по проекту IRN BR24993072 «Разработка интеллектуального образовательного ресурса на основе искусственного интеллекта для развития критического мышления студентов», финансируемого Комитетом науки Министерства науки и высшего образования Республики Казахстан.

ЛИТЕРАТУРА

1 Paul, R., and L. Elder. *The Miniature Guide to Critical Thinking Concepts and Tools* (Foundation for Critical Thinking, 2008).

2 Liu, O., R. Frankel, and M. Roohr. *Assessing Critical Thinking in Higher Education: Current State and Directions for Next-Generation Assessment*. ETS Research Report Series (2014).

3 Romero, C., and S. Ventura. *Educational Data Mining: A Review of the State of the Art*. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics, Part C (Applications and Reviews)*, 40 (6), 601–618 (2010). <https://doi.org/10.1109/TSMCC.2010.2053532>

4 Luo, Z., J. Mai, C. Feng, D. Kong, J. Liu, Y. Ding, B. Qi, and Z. Zhu. *A Method for Prediction and Analysis of Student Performance That Combines Multi-Dimensional Features of Time and Space*. *Mathematics*, 12 (22), 3597 (2024). <https://doi.org/10.3390/math12223597>

5 Devi, K., and S. Ratnoo. *Predicting student dropouts using random forest*. *Journal of Statistics and Management Systems*, 25, 1579–1590 (2022).

6 Behar-Horenstein, L. S., and L. Niu. *Teaching critical thinking skills in higher education: A review of the literature*. *Journal of College Teaching & Learning (TLC)*, 8 (2) (2011).

7 Evens, M., A. Verburch, and J. Elen. *Critical thinking in college freshmen: The impact of secondary and higher education*. *International Journal of Higher Education*, 2 (3), 139–151 (2013).

- 8 Gibson, C. Critical thinking: Implications for instruction. (1995).
- 9 Yousef, W. An assessment of critical thinking in the Middle East: Evaluating the effectiveness of special courses interventions. *PLOS ONE*, 16 (12), e0262088 (2021).
- 10 Condon, C., and R. Valverde. Increasing critical thinking in web-based graduate management courses. *Journal of Information Technology Education: Research*, 13, 177–191 (2014).
- 11 Terenzini, P.T., et al. Influences affecting the development of students' critical thinking skills. *Research in Higher Education*, 36 (1), 23–39 (1995).
- 12 Ennis, R. Critical thinking across the curriculum: The Wisdom CTAC Program. *Inquiry: Critical Thinking Across the Disciplines*, 28 (2), 25–45 (2013).
- 13 Niu, L., L.S. Behar-Horenstein, and C.W. Garvan. Do instructional interventions influence college students' critical thinking skills? A meta-analysis. *Educational Research Review*, 9, 114–128 (2013).
- 14 D'Alessio, F. A., B. E. Avolio, and V. Charles. Studying the impact of critical thinking on the academic performance of executive MBA students. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 275–283 (2019).
- 15 Wolcott, S. K., et al. Critical thought on critical thinking research. *Journal of Accounting Education*, 20 (2), 85–103 (2002).
- 16 Kalelioğlu, F., and Y. Gülbahar. The effect of instructional techniques on critical thinking and critical thinking dispositions in online discussion. *Journal of Educational Technology & Society*, 17 (1), 248–258 (2014).
- 17 Howard, L.W., T.L.-P. Tang, and M. J. Austin. Teaching critical thinking skills: Ability, motivation, intervention, and the Pygmalion effect. *Journal of Business Ethics*, 128, 133–147 (2015).
- 18 Yuan, H., B. A. Williams, and L. Fan. A systematic review of selected evidence on developing nursing students' critical thinking through problem-based learning. *Nurse Education Today*, 28 (6), 657–663 (2008).
- 19 Pitt, V., et al. The influence of critical thinking skills on performance and progression in a pre-registration nursing program. *Nurse Education Today*, 35 (1), 125–131 (2015).
- 20 Chukwuyenum, A.N. Impact of critical thinking on performance in mathematics among senior secondary school students in Lagos State. *IOSR Journal of Research & Method in Education*, 3 (5), 18–25 (2013).
- 21 Temel, H. The effect of critical thinking course carry out with distance education on critical thinking skills and dispositions. *International Journal of Psychology and Educational Studies*, 9 (3), 792–808 (2022).
- 22 Korkmaz, O., and U. Karakus. The impact of blended learning model on student attitudes towards geography course and their critical thinking dispositions and levels. *Turkish Online Journal of Educational Technology-TOJET*, 8 (4), 51–63 (2009).
- 23 Loes, C., E. Pascarella, and P. Umbach. Effects of diversity experiences on critical thinking skills: Who benefits? *The Journal of Higher Education*, 83 (1), 1–25 (2012).
- 24 Ernst, J., and M. Monroe. The effects of environment-based education on students' critical thinking skills and disposition toward critical thinking. *Environmental Education Research*, 10 (4), 507–522 (2004).
- 25 Plummer, K.J., et al. Enhancing critical thinking skills through decision-based learning. *Innovative Higher Education*, 47 (4), 711–734 (2022).
- 26 Ennis, R.H. Critical thinking assessment. *Theory Into Practice*, 32 (3), 179–186 (1993). <https://doi.org/10.1080/00405849309543594>
- 27 Eccles, J.S., and B.L. Barber. Student council, volunteering, basketball, or marching band: What kind of extracurricular involvement matters? *Journal of Adolescent Research*, 14 (1), 10–43 (1999). <https://doi.org/10.1177/0743558499141003>

^{1*}Молдагулова А.Н.,

ф.-м.ғ.к., профессор, ORCID ID: 0000-0002-1596-561X,

*e-mail: a.moldagulova@satbayev.university

¹Қасенхан А.М.,

PhD, қауымдастырылған профессор, ORCID ID: 0000-0002-6355-9544,

e-mail: a.kassenkhan@satbayev.university

²Утебаев Қ.А.,

магистрант, ORCID ID: 0009-0004-3032-5049,

e-mail: utebayevkuat@gmail.com

²Ізтұрған Н.Б.,

магистрант, ORCID ID: 0009-0001-7667-9561,

e-mail: e-mail: tasnur2002@gmail.com

¹Қ.И. Сәтпаев атындағы Қазақ ұлттық зерттеу техникалық университеті,
Алматы қ., Қазақстан

²«МИФИ» Ұлттық зерттеу ядролық университетінің Алматы филиалы,
Алматы қ., Қазақстан

ОҚУШЫЛАРДЫҢ СЫНИ ОЙЛАУ DAҒДЫЛАРЫН БОЛЖАУ ҮШІН МАШИНАЛЫҚ ОҚЫТУ МОДЕЛЬДЕРІН ЗЕРТТЕУ

Андатпа

Бұл мақалада академиялық және мінез-құлық деректеріне негізделген оқушылардың сыни ойлау дағдыларын болжау үшін машиналық оқыту әдістерін қолдану мүмкіндігі қарастырылады. Сыни ойлау қазіргі заманғы білім беруде маңызды дағды ретінде кеңінен танылғанымен, оны тікелей бағалау қиын болып қала береді. Зерттеудің мақсаты – сыни ойлаудың дамуы мен академиялық жетістіктер, сыныптан тыс іс-шараларға қатысу және курс таңдау сияқты өлшенетін факторлар арасындағы байланысты анықтау. Негізгі сипаттамаларды алу үшін 500 анонимді студент профилінен тұратын деректер жиынтығы жиналып, өңделді. Стандартты өнімділік көрсеткіштерін қолдана отырып, үш модель әзірленді және бағаланды: сызықтық регрессия, шешім ағашы және кездейсоқ орман регрессоры. Кездейсоқ орман моделі жоғары болжамдық өнімділікті көрсетті, шешім ағашы үшін 0,65 және сызықтық регрессия үшін 0,37 салыстырғанда R^2 мәні 0,84 болды. Зерттеу нәтижелері оқушылардың академиялық жетістіктері, курс таңдауы және сыныптан тыс іс-әрекет деңгейі олардың сыни ойлау қабілеттері туралы құнды түсінік беретінін көрсетеді. Жалпы алғанда, нәтижелер когнитивтік дағдыларды жанама бағалауға арналған деректерге негізделген тәсілдердің тиімділігін растайды, бұл оқу бағдарламасын әзірлеу, ерте араласу бастамалары және білім беру саясатын жоспарлау үшін практикалық салдарға ие. Оңай қолжетімді білім беру деректерін пайдалану арқылы бұл тәсіл оқыту аналитикасы саласында масштабталатын, объективті және жекелендірілген бағалау әдістерін әзірлеуге ықпал етеді.

Түйін сөздер: машиналық оқыту, сызықтық регрессия, шешім ағашы, кездейсоқ орман, сыни ойлау, оқушылардың сыни ойлау дағдыларын болжау.

¹*Moldagulova A.N.,

Cand. Sci. (Physics and Math.), Professor, ORCID ID: 0000-0002-1596-561X,

*e-mail: a.moldagulova@satbayev.university

¹Kassenkhan A.M.,

PhD, Associate Professor, ORCID ID: 0000-0002-6355-9544,

e-mail: a.kassenkhan@satbayev.university

²Utebaev K.A.,

Master's student, ORCID ID: 0009-0004-3032-5049,

e-mail: utebayevkuat@gmail.com

²Izturgan N.B.,

Master's student, ORCID ID: 0009-0001-7667-9561,

e-mail: e-mail: tasnur2002@gmail.com

¹Kazakh National Research Technical University named after K.I. Satbayev,
Almaty, Kazakhstan

²Almaty Branch of the National Research Nuclear University "MEPhI",
Almaty, Kazakhstan

RESEARCH OF MACHINE LEARNING MODELS FOR PREDICTING STUDENTS' CRITICAL THINKING SKILLS

Abstract

This article explores the potential of using machine learning methods to predict students' critical thinking skills based on academic and behavioral data. Although critical thinking is widely recognized as a critical skill in modern education, its direct assessment remains challenging. The aim of the study was to identify the relationship between critical thinking development and measurable factors such as academic achievement, participation in extracurricular activities, and course selection. A dataset of 500 anonymized student profiles was collected and processed to extract key characteristics. Three models were developed and evaluated using standard performance metrics: linear regression, decision tree, and random forest regressor. The random forest model demonstrated superior predictive performance, achieving an R^2 value of 0.84, compared to 0.65 for the decision tree and 0.37 for the linear regression. The study's findings demonstrate that students' academic achievement, course selection, and level of extracurricular activity collectively provide valuable insight into their critical thinking abilities. Overall, the results support the effectiveness of data-driven approaches for indirectly assessing cognitive skills, which has practical implications for curriculum development, early intervention initiatives, and educational policy planning. By leveraging readily available educational data, this approach facilitates the development of more scalable, objective, and personalized assessment methods in the field of learning analytics.

Keywords: machine learning, linear regression, decision tree, random forest, critical thinking, predicting students' critical thinking skills.

Received February 2, 2026; revised February 13, May 12, June 8, 2026; accepted June 13, 2026.