



Научная статья

УДК 004.9

DOI: 10.24412/2072-9014-2024-470-61-72

ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННЫХ НЕЙРОННЫХ СЕТЕЙ И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ УСПЕВАЕМОСТИ СТУДЕНТОВ ВЫСШИХ УЧЕБНЫХ ЗАВЕДЕНИЙ

*Вадим Леонидович Аршинский¹ ✉,
Вадим Александрович Провоторов²*

^{1,2} *Иркутский национальный исследовательский технический университет,
Иркутск, Россия*

¹ *arshinskyv@istu.edu ✉, <https://orcid.org/0000-0001-7832-1582>*

² *provotorovva@ex.istu.edu, <https://orcid.org/0009-0002-7739-4151>*

Аннотация. В статье излагается применение искусственных нейронных сетей и машинного обучения для прогнозирования успеваемости студентов в высших учебных заведениях на примере Иркутского национального исследовательского технического университета. Рассматриваются текущие методы оценки успеваемости, выявляются их недостатки и предлагаются решения для автоматизации и улучшения анализа данных. Работа подчеркивает значимость внедрения этих технологий для повышения эффективности образовательного процесса, позволяет сделать точные прогнозы и вовремя выявлять студентов, нуждающихся в поддержке.

Ключевые слова: прогнозирование успеваемости студентов; анализ образовательных данных; информационные технологии в образовании; цифровая образовательная среда; прогностические модели.

Original article

UDC 004.9

DOI: 10.24412/2072-9014-2024-470-61-72

APPLYING ARTIFICIAL NEURON NETWORKS AND MACHINE LEARNING FOR PREDICTING ACADEMIC PERFORMANCE OF HIGHER EDUCATION STUDENTS

*Vadim L. Arshinsky*¹ ✉,

*Vadim A. Provotorov*²

^{1, 2} *Irkutsk National Research Technical University,
Irkutsk, Russia*

¹ *arshinskyv@istu.edu* ✉; <https://orcid.org/0000-0001-7832-1582>

² *provotorovva@ex.istu.edu*; <https://orcid.org/0009-0002-7739-4151>

Abstract. The article describes the application of artificial neural networks and machine learning for predicting students' academic performance in higher education institutions on the example of Irkutsk National Research Technical University. The current methods of learning achievement assessment are considered, their shortcomings are revealed and solutions for automation and improvement of data analysis are proposed. The paper emphasizes the importance of implementation of these technologies to improve the efficiency of the educational process, allows making accurate forecasts and timely identifying students in need of support.

Keywords: prediction of students' performance; educational data analysis; information technologies in education; digital educational environment; predictive models.

Для цитирования: Аршинский В. Л. Применение искусственных нейронных сетей и машинного обучения для прогнозирования успеваемости студентов высших учебных заведений / В. Л. Аршинский, В. А. Провоторов // Вестник МГПУ. Серия «Информатика и информатизация образования». 2024. № 4 (70). С. 61–72.

For citation: Arshinsky V. L. Applying artificial neuron networks and machine learning for predicting academic performance of higher education students / V. L. Arshinsky, V. A. Provotorov // MCU Journal of Informatics and Informatization of Education. 2024. № 4 (70). P. 61–72.

Введение

Анализ учебной деятельности учащихся школ, профессиональных училищ и высших учебных заведений является важным направлением современных исследований в области образовательных технологий. В условиях стремительного развития информационных технологий образовательные учреждения все чаще применяют новые технологические разработки для управления образовательным процессом [1]. Одним из таких направлений развития является анализ успеваемости с целью составления

прогноза на возможные будущие оценки учащегося. В дальнейшем в данной работе будет рассматриваться работа с успеваемостью студентов высших учебных заведений.

Прогнозирование академических результатов студентов позволяет не только выявить потенциальные риски неуспеваемости, но и своевременно принять меры для их минимизации. Важность данного исследования обусловлена тем, что успешность студентов напрямую влияет на репутацию вуза, его конкурентоспособность и уровень удовлетворенности студентов.

Использование данных для прогнозирования успеваемости становится возможным благодаря развитию технологий искусственного интеллекта, и в частности искусственных нейронных сетей (ИНС) [2]. Современные образовательные учреждения располагают обширными массивами данных о своих студентах, включающих записи об успеваемости, информацию о посещаемости, участии во внеучебной деятельности, информацию о результатах выполнения тестов и о многом другом. Эти данные могут быть эффективно использованы для создания моделей прогнозирования успеваемости, которые способны предсказать, какие студенты могут столкнуться с трудностями в обучении, и выявления факторов, влияющих на успеваемость.

Значимость исследования прогнозирования успеваемости студентов с использованием искусственных нейронных сетей заключается в возможности получения точных и надежных прогнозов, которые могут быть применены для улучшения образовательного процесса [3]. Для преподавателей и администрации вузов такие прогнозы представляют ценный инструмент, позволяющий разрабатывать индивидуализированные образовательные траектории, корректировать учебные планы и внедрять превентивные меры поддержки студентов. Студенты, в свою очередь, получают возможность своевременной поддержки со стороны преподавателей и рекомендации по улучшению своей успеваемости, что способствует повышению их мотивации.

Таким образом, исследование использования искусственных нейронных сетей для прогнозирования успеваемости студентов представляет собой актуальную и значимую задачу, направленную на улучшение качества образования и повышение эффективности образовательного процесса в высших учебных заведениях.

Методы исследования

Целью данного исследования является изучение возможностей применения искусственных нейронных сетей и методов машинного обучения (далее — МО) для прогнозирования успеваемости студентов вуза. В рамках представленной работы планируется исследовать текущие методы оценки успеваемости студентов и возможности использования полученных данных на примере Иркутского национального исследовательского технического университета (далее — ИРНИТУ).

Также рассматриваются различные виды нейронных сетей, подходящих для достижения поставленной цели, и проводится анализ имеющихся данных о студентах названного вуза.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

1. *Изучить текущие бизнес-процессы вуза.* Прежде всего, необходимо проанализировать проблематику, как и кем на данный момент обрабатываются и используются данные об успеваемости студентов и в чем минусы применяемых методов.

2. *Предложить решение найденных проблем.* Зная проблемы, с которыми сталкивается вуз, можно предложить решение по цифровизации и автоматизации некоторых бизнес-процессов.

3. *Провести анализ существующих подходов к прогнозированию.* Важно провести обзор существующих видов нейронных сетей, изучить примеры их применения, а также технологии обучения нейронных сетей для прогнозирования.

4. *Осуществить сбор и предобработку данных.* На этом этапе необходимо определить источники данных, собрать и подготовить данные для последующего анализа. Важно учитывать различные критерии данных, такие как полнота, корректность и релевантность.

5. *Провести анализ факторов, влияющих на успеваемость студентов.* В ходе исследования необходимо определить ключевые факторы, оказывающие влияние на успеваемость студентов, и оценить их значимость. Это позволит не только улучшить точность прогнозов, но и предоставить рекомендации по улучшению образовательного процесса.

В результате выполнения поставленных задач будут изучены текущие процессы вуза на примере ИРНИТУ, выявлены проблемные места при работе с данными об успеваемости и предложено решение в виде разработки модели искусственной нейронной сети. На основе нашего исследования планируется разработка и внедрение предложенного решения.

Результаты исследования

Текущие методы оценки успеваемости студентов. В настоящее время в ИРНИТУ вся информация об успеваемости студентов обрабатывается в ручном режиме. Во время сессии студенты сдают экзамены, зачеты с оценками и зачеты по предметам, пройденным во время семестра. По результатам аттестации преподаватели заполняют ведомости на каждую отдельную группу. После этого ведомости в бумажном виде передаются в дирекцию университета.

Сотрудники дирекции заносят оценки и результаты зачетов во внутреннюю систему вуза «АИС Университет». Все данные об успеваемости сохраняются в базе университета. В дальнейшем эти данные используются только

для внутренних процессов, таких как определение стипендии на будущий семестр или формирование списка студентов с академической задолженностью.

Любой анализ успеваемости студентов также проводится вручную преподавателями, руководителями образовательных программ и сотрудниками дирекции. Сотрудникам и преподавательскому составу приходится изучать активность и успеваемость каждого студента своего института. Если у студента имеется задолженность, особенно по профильным дисциплинам, с ним необходимо связаться, провести профилактическую беседу, выяснить причину отставания в усвоении предмета и предложить решение данной проблемы [4].

Рассматриваемый подход к анализу успеваемости приводит к большим затратам времени и человеческих ресурсов, что отрицательно влияет на эффективность учебного процесса. Кроме того, используемые методы не позволяют проводить глубокий анализ данных. Сотрудники дирекции и руководители образовательных программ могут ориентироваться только на то, с какими предметами возникают проблемы, без учета влияния возможных иных факторов, таких как связь между предметами, предыдущее образование студента, особенности каждого отдельного учащегося. Ручная обработка также значительно замедляет выявление закономерностей в успеваемости студентов и связей между отдельными предметами. Помимо вышесказанного, преподаватели в основном сосредоточены на разрешении проблем только с дисциплинами, которые они ведут.

Таким образом, существующая система анализа успеваемости студентов не только требует высоких временных и трудовых затрат, но и ограничивает возможности для улучшения образовательного процесса за счет отсутствия глубокого анализа данных. В результате любые решения, принимаемые на основе этих данных, могут быть не так эффективны, как это возможно при использовании более современных методов анализа, таких как искусственные нейронные сети и машинное обучение. Внедрение подобных технологий позволило бы значительно повысить эффективность обработки данных и улучшить качество принятия решений, что поспособствовало бы повышению успеваемости студентов вуза.

Практическое применение результатов исследования. Информатизация и автоматизация анализа успеваемости студентов с применением искусственных нейронных сетей и МО может значительно повысить эффективность образовательного процесса и поднять среднюю успеваемость студентов [5].

В ИРНИТУ уже проводится разработка и внедрение системы электронных ведомостей и электронных зачетных книжек, поэтому решение проблемы сбора и внесения сведений об успеваемости в нашей работе подробно не рассматривается. Разрабатываемая система позволит автоматизировать процесс сбора данных об успеваемости. Это в перспективе предоставит

еще больше данных для анализа, касающихся не только промежуточной успеваемости за сессию, но и текущей — за лабораторные и практические занятия. Преподаватели будут вносить оценки в разрабатываемую систему и смогут печатать уже заполненные ведомости, что минимизирует влияние человеческого фактора и решает проблему ручного сбора и внесения в базу данных оценок студентов.

Использование искусственных нейронных сетей и МО для анализа данных об успеваемости студентов позволит выявить скрытые закономерности, которые могут быть неочевидны при ручной обработке данных. Например, анализ может показать, какие именно факторы (такие как место рождения, участие в учебных и внеучебных мероприятиях, предыдущая успеваемость и т. д.) наиболее сильно влияют на успеваемость студентов. Это поможет разработать более точные и персонализированные рекомендации для студентов, способствующие улучшению их учебных результатов [5].

Кроме того, данные технологии могут использоваться для прогнозирования академических проблем, что позволит вузу заранее выявлять студентов, находящихся в группе риска. Прогнозирование возможных проблем с успеваемостью даст возможность вовремя проводить профилактические мероприятия, такие как дополнительные консультации, беседы со специалистами дирекции, психологическая поддержка и другие меры помощи. Это значительно повысит шансы студентов на успешное завершение обучения и снизит количество академических задолженностей [4; 6; 7].

В данном исследовании наиболее заинтересованы руководители образовательных программ и сотрудники дирекции. Применение результатов исследования может улучшить процесс принятия административных решений. На основе прогнозов и аналитических данных руководство высшего учебного заведения сможет более обоснованно распределять ресурсы, такие как преподавательский состав, финансирование на стипендии и гранты и инфраструктурные проекты. Это позволит более эффективно управлять учебным процессом и улучшать качество образования.

Кроме того, результаты исследования могут быть полезны руководителям образовательных программ для корректировки имеющихся программ обучения. Результаты анализа данных могут показать, какие предметы вызывают наибольшие проблемы у студентов и с чем это связано.

Возможные методы прогнозирования успеваемости студентов. Для достижения поставленной цели вузу необходим инструмент, который сможет анализировать наборы данных о студентах и делать прогнозы по успеваемости, опираясь на уже имеющиеся примеры. Одним из вариантов решения является разработка системы с использованием аппарата искусственных нейронных сетей [6; 7].

Для решения задачи прогнозирования применяются различные методы машинного обучения и искусственного интеллекта. В данном разделе

рассмотрим основные подходы, используемые для прогнозирования, такие как многослойный персептрон (*англ.* Multilayer Perceptron, MLP), рекуррентные нейронные сети (*англ.* Recurrent Neural Network, RNN) и модели с долгой краткосрочной памятью (*англ.* Long short-term memory, LSTM). Проанализируем их преимущества и недостатки, а также применимость в контексте образовательных данных.

Многослойный персептрон является популярным типом искусственных нейронных сетей, используемых для прогнозирования благодаря своей простой архитектуре и высокой скорости обучения на небольших наборах данных. Однако он ограничен в обработке последовательных данных и менее точен для сложных задач, по сравнению с более продвинутыми моделями [8].

Рекуррентные нейронные сети предназначены для работы с последовательными данными и хорошо справляются с задачами временных рядов. Их преимуществами являются способность учитывать временные зависимости и универсальность применения. Основные недостатки заключаются в трудности с долгосрочными зависимостями и более сложной настройкой, по сравнению с MLP.

Модели с долгой краткосрочной памятью, усовершенствованная версия RNN, эффективно управляют долгосрочными зависимостями и демонстрируют высокую точность прогнозирования. Однако сложность архитектуры, увеличение вычислительных затрат и риск переобучения остаются значительными недостатками этих моделей.

Рассмотрев данные виды искусственных нейронных сетей, можно сделать вывод, что каждый из них имеет свои преимущества и недостатки. Для полноты исследования можно построить, настроить и обучить модель каждого из этих видов. По результатам данной работы можно будет сделать вывод о том, какая из архитектур искусственных нейронных сетей больше подходит для достижения поставленной цели.

Подготовка данных для анализа. В качестве данных для исследования и разработки модели прогнозирования будет использоваться информация о студентах ИРНИТУ, прошедших обучение по направлению «Информационные системы и технологии», профиль «Информационные системы и технологии в административном управлении», академическая степень бакалавриата.

Поскольку по данному направлению сбор информации по текущей успеваемости студента, такой как оценки за практические и лабораторные работы, не стандартизирован, используется только информация о промежуточной успеваемости во время сессий.

Обращаясь к базе данных вуза, мы получили информацию об успеваемости примерно 600 студентов, или же 31 200 строк. Каждая строка содержит информацию о студенте и его оценке за определенный экзамен, зачет или зачет с оценкой.

В качестве данных о студенте мы имеем следующую информацию:

- ID студента;
- форма обучения: коммерческая, целевая или бюджетная;
- пол студента;
- населенный пункт, откуда приехал студент;
- живет ли студент в общежитии;
- семестр обучения, в который была получена оценка;
- дисциплина, по которой получена оценка;
- оценка за экзамен или зачет по дисциплине.

Для успешного обучения модели на указанных данных необходимо провести несколько этапов проверки и предварительной обработки данных, включая очистку, нормализацию и преобразование категориальных данных.

Для обучения и тестирования модели необходимо разбить данные об успеваемости на семестры. Мы можем предположить, что под конец четвертого семестра студент уже имеет достаточно оценок, которые могут быть использованы для предсказания оценок в сессии после данного семестра. Отделим данные с оценками за первый, второй и третий семестры от данных с оценками за четвертый семестр. Остальные семестры в нашем исследовании задействованы не будут.

Вначале приведем часть данных к категориальному виду. Данное преобразование проводится для следующих атрибутов:

- форма обучения: преобразуется в три бинарные переменные — `is_commercial`, `is_targeted`, `is_budget`.
- пол студента: преобразуется в бинарные переменные `male`, `female`.
- населенный пункт: преобразуется в переменные с помощью `Label encoding`, поскольку нам важно только преобразовать текст в переменные, пригодные для обработки.
- живет ли студент в общежитии: преобразуется в бинарные переменные `is_dormitory`, `not_dormitory`.

Далее удалим признаки, которые не связаны с тем, какие оценки получит студент. Поэтому мы можем убрать следующие столбцы: ID студента и семестр.

Для обработки мы оставляем столбцы:

- форма обучения;
- пол студента;
- населенный пункт, откуда приехал студент;
- живет ли студент в общежитии;
- дисциплина, по которой получена оценка;
- оценка за экзамен или зачет по дисциплине.

Проверка на наличие пустых значений в строках проводится на этапе получения данных из базы. Строки с пропусками не попадают в выборку, также в данных отсутствуют выбросы.

Все оценки находятся в диапазоне от 0 до 6, где:

- неявка = 0;

- не зачтено = 1;
- 2 = 2;
- 3 = 3;
- 4 = 4;
- 5 = 5;
- зачтено = 6.

Последним шагом будет перестроение данных таким образом, чтобы на каждого студента имелась одна строка, в которой будут данные о студенте, а также оценки за каждую из дисциплин, участвующих в создании прогноза.

Нормализация данных не требуется, поскольку оценки за зачеты и экзамены находятся в едином числовом диапазоне, удобном для обработки.

В результате проведения предварительной обработки мы получаем набор данных о студентах и их успеваемости, который может быть использован для обучения модели нейронной сети с целью составления прогнозов по будущей успеваемости студента.

Заключение

В результате проведенного исследования была рассмотрена возможность использования искусственных нейронных сетей для прогнозирования успеваемости студентов высших учебных заведений на примере ИРНИТУ. Анализ текущих методов оценки успеваемости показал, что ручная обработка данных занимает значительное время и ограничивает возможности глубокого анализа. Внедрение автоматизированной системы с применением машинного обучения и нейронных сетей, таких как MLP, RNN и LSTM, может существенно повысить точность и оперативность анализа успеваемости студентов.

Проведенные ранее исследования подтверждают, что использование искусственных нейронных сетей для прогнозирования успеваемости позволяет выявлять скрытые зависимости и предсказывать академические результаты с высокой точностью. Имеются примеры успешного использования данных методов в учебных заведениях [7]. Наиболее перспективной архитектурой для обработки образовательных данных на данный момент является модель LSTM, способная эффективно управлять долгосрочными зависимостями в данных.

Практическая значимость результатов исследования заключается в возможности создания автоматизированной системы для прогнозирования успеваемости студентов, что позволит вузам заранее выявлять студентов, находящихся в группе риска, и принимать своевременные меры поддержки. Это не только улучшит учебный процесс, но и повысит общую успеваемость и удовлетворенность студентов.

В дальнейшем планируется разработка и сравнение трех моделей нейронных сетей на основе рассмотренных архитектур: MLP, RNN, LSTM. Сравнение

будет проводиться на основе скорости обработки данных, точности создания прогнозов и удобства разработки и модификации модели. С учетом проведенного анализа будет выбрана наиболее эффективная архитектура. Данная модель будет использована в разрабатываемой системе, которая будет внедрена в бизнес-процессы ИРНИТУ.

Список источников

1. Дробахина А. Н. Информационные технологии в образовании: искусственный интеллект [Электронный ресурс] / А. Н. Дробахина // Проблемы современного педагогического образования. 2021. № 70-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-tehnologii-v-obrazovanii-iskusstvennyy-intellekt> (дата обращения: 12.07.2024).
2. Дауб И. С. Обзор методов прогнозирования временных рядов с помощью искусственных нейронных сетей [Электронный ресурс] / И. С. Дауб // StudNet. 2020. № 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-prognozirovaniya-vremennyh-ryadov-s-pomoschyu-iskusstvennyh-neyronnyh-setey> (дата обращения: 12.07.2024).
3. Применение нейронных сетей в образовании / А. С. Беликов [и др.] // Информационные системы и технологии: материалы 54-й научной конференции аспирантов, магистрантов и студентов. Минск: Белорусский государственный университет информатики и радиоэлектроники, 2018. С. 23–24.
4. Ждан А. Б. Неудача в вузе: проблема и пути решения / А. Б. Ждан // Образование и культурный капитал: сборник научных статей Всероссийской научно-практической конференции (Уссурийск, 17 декабря 2015 г.). Владивосток: Дальневосточный федеральный университет, 2015. С. 16–20.
5. Редванов А. С. Система мониторинга успеваемости студентов педагогического вуза в контексте онлайн-образования [Электронный ресурс] / А. С. Редванов // МНКО. 2023. № 5 (102). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-monitoringa-uspevaemosti-studentov-pedagogicheskogo-vuza-v-kontekste-onlayn-obrazovaniya> (дата обращения: 23.07.2024).
6. Свирина Е. А. Обзор методов анализа успеваемости студентов вуза / Е. А. Свирина, А. Н. Петрова // Молодежь и наука: актуальные проблемы фундаментальных и прикладных исследований: материалы III Всероссийской национальной научной конференции студентов, аспирантов и молодых ученых: в 3 ч. (Комсомольск-на-Амуре, 06–10 апреля 2020 г). Ч. 2. Комсомольск-на-Амуре: Комсомольский-на-Амуре государственный университет, 2020. С. 379–382.
7. Попова Н. А. Интеллектуальный анализ образовательных данных для прогноза успеваемости студентов вуза / Н. А. Попова, Е. С. Егорова // Известия КБНЦ РАН. 2023. № 2 (112). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnyy-analiz-obrazovatelnyh-dannyh-dlya-prognoza-uspevaemosti-studentov-vuza> (дата обращения: 23.07.2024).
8. Андронов Ю. В. Оценка прогнозирующих способностей многослойного персептрона с различными функциями активации и алгоритмами обучения / Ю. В. Андронов, В. Н. Мельников, А. В. Стрекалов // Геология, геофизика и разработка нефтяных и газовых месторождений. 2015. № 9. С. 18–20.

References

1. Drobakhina A. N. Information technologies in education: artificial intelligence [Electronic resource] / A. N. Drobakhina // Problems of modern pedagogical education. 2021. № 70-1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/informatsionnye-tehnologii-v-obrazovanii-iskusstvennyy-intellekt> (accessed: 01.07.2024).
2. Daub I. S. Review of time series forecasting methods using artificial neural networks [Electronic resource] / I. S. Daub // StudNet. 2020. № 10. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/obzor-metodov-prognozirovaniya-vremennyh-ryadov-s-pomoschyu-iskusstvennyh-neyronnyh-setey> (accessed: 01.07.2024).
3. Application of neural networks in education / A. S. Belikov [et al.] // Information Systems and Technologies: materials of the 54th scientific conference of graduate students, undergraduates and students. Minsk: Belarusian State University of Informatics and Radio-electronics, 2018. P. 23–24.
4. Zhdan A. B. Academic failure in higher education: a problem and solutions / A. B. Zhdan // Education and Cultural Capital: collection of scientific articles of the All-Russian Scientific and Practical Conference (Ussuriysk, December 17, 2015). Vladivostok: Far Eastern Federal University, 2015. P. 16–20.
5. Redvanov A. S. The system of monitoring the academic performance of students of a pedagogical university in the context of online education [Electronic resource] / A. S. Redvanov // MNKO. 2023. № 5 (102). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/sistema-monitoringa-uspevaemosti-studentov-pedagogicheskogo-vuza-v-kontekste-onlayn-obrazovaniya> (accessed: 01.07.2024).
6. Svirina E. A. Review of methods for analyzing the academic performance of university students / E. A. Svirina, A. N. Petrova // Youth and Science: Actual Problems of Fundamental and Applied Research: materials of the III All-Russian National Scientific Conference of Students, Postgraduates and Young Scientists: in 3 p. (Komsomolsk-on-Amur, April 06–10, 2020). P. 2. Komsomolsk-on-Amur: Komsomolsk-on-Amur State University, 2020. P. 379–382.
7. Popova N. A. Intellectual analysis of educational data for predicting the academic performance of university students [Electronic resource] / N. A. Popova, E. S. Egorova // Izvestiya KBNTS RAS. 2023. № 2 (112). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/intellektualnyy-analiz-obrazovatelnyh-dannyh-dlya-prognoza-uspevaemosti-studentov-vuza> (accessed: 01.07.2024).
8. Andronov Yu. V. Assessment of the predictive abilities of a multilayer perceptron with various activation functions and learning algorithms / Yu. V. Andronov, V. N. Melnikov, A. V. Strekalov // Geology, Geophysics and Development of Oil and Gas Fields. 2015. № 9. P. 18–20.

Статья поступила в редакцию: 08.07.2024;
одобрена после рецензирования: 05.09.2024;
принята к публикации: 05.09.2024.

The article was submitted: 08.07.2024;
approved after reviewing: 05.09.2024;
accepted for publication: 05.09.2024.

Информация об авторах / Information about authors:

Вадим Леонидович Аршинский — кандидат технических наук, руководитель Центра программной инженерии, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия.

Vadim L. Arshinsky — Candidate of Technical Science, Head of the Software Engineering Centre, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia.

arshinskyv@istu.edu ✉; <https://orcid.org/0000-0001-7832-1582>

Вадим Александрович Провоторов — магистрант, Институт информационных технологий и анализа данных, Иркутский национальный исследовательский технический университет, Иркутск, Россия.

Vadim A. Provotorov — Graduate Student, Institute of Information Technology and Data Analysis, Irkutsk National Research Technical University, Irkutsk, Russia.

provotorovva@ex.istu.edu; <https://orcid.org/0009-0002-7739-4151>

Вклад авторов: все авторы сделали эквивалентный вклад в подготовку публикации. Авторы заявляют об отсутствии конфликта интересов.

Contribution of the authors: the authors contributed equally to this article. The authors declare no conflicts of interests.