

## Применение миварных экспертных систем для диагностики бактериальной устойчивости к антибиотикам

Н. Ч. Салахутдинова<sup>1</sup>, О. О. Варламов<sup>✉1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup>Институт искусственного интеллекта Российского технологического университета МИРЭА  
119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, 78

<sup>2</sup>Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана  
105005, Россия, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, корп. 1

<sup>3</sup>АО НИИ вычислительных комплексов имени М. А. Карцева  
117437, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 108

**Аннотация.** Исследование посвящено использованию миварных экспертных систем для выявления бактериальной устойчивости к существующим антибиотикам. Представлена модульная архитектура системы, которая позволяет легко добавлять и обновлять отдельные компоненты. Создана миварная база знаний, состоящая из 56 правил для работы с экспертной системой. Предлагается реализовать систему с использованием программного обеспечения (ПО) КЭСМИ, которое позволило получать логический вывод решения. Система протестирована на трех различных случаях. Первый случай включал наличие мутации в гене *tesA*, второй – метилированные рибосомы, а третий – грамположительные бактерии. Тестирование миварной экспертной системы показало, что результаты устойчивости бактерий соответствовали установленной базе знаний. Изучено влияние использования миварных экспертных систем на процесс выявления антибиотикорезистентности. Предложено описание методологий, использованных для оценки эффективности системы. Обосновано, почему использование миварных экспертных систем может значительно улучшить диагностику и лечение инфекционных заболеваний.

**Ключевые слова:** мивар, миварная экспертная система, КЭСМИ, Большие Знания, бактериальная устойчивость, автоматизированные системы управления производствами, умные производственные системы, автоматизированные системы управления технологическими процессами

Поступила 18.03.2025, одобрена после рецензирования 26.03.2025, принята к публикации 03.04.2025

**Для цитирования.** Салахутдинова Н. Ч., Варламов О. О. Применение миварных экспертных систем для диагностики бактериальной устойчивости к антибиотикам // Известия Кабардино-Балкарского научного центра РАН. 2025. Т. 27. № 2. С. 55–73. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-2-55-73

MSC: 68T35, 90B50

Original article

## The use of mivar expert systems for diagnosis of bacterial antibiotic resistance

N.Ch. Salakhutdinova<sup>1</sup>, O.O. Varlamov<sup>✉1, 2, 3</sup>

<sup>1</sup>Institute of Artificial Intelligence of the Russian Technological University MIREA  
119454, Russia, Moscow, 78 Vernadsky avenue

<sup>2</sup>Moscow State Technical University named after N.E. Bauman  
105005, Russia, Moscow, corp. 1, building 5, 2nd Baumanskaya street

<sup>3</sup>JSC M.A. Kartsev Research Institute of Computing Systems  
117437, Russia, Moscow, 108 Profsoyuznaya street

**Abstract.** The study is dedicated to the use of mivar expert systems for identifying bacterial resistance to existing antibiotics. A modular architecture of the system was presented, which allows easy addition and updating of individual components. A knowledge base consisting of 56 rules for working with the expert system was created. It is proposed to implement the system using the KESMI software, which allowed for logical conclusions to be drawn. The system was tested on three different cases. The first case involved the presence of a mutation in the *mecA* gene, the second involved methylated ribosomes, and the third involved Gram-positive bacteria. Testing of the Mivar expert system showed that the bacteria's resistance results matched the established knowledge base. The impact of using Mivar expert systems on the process of detecting antibiotic resistance has been studied. A description of the methodologies used to evaluate the system's effectiveness was proposed. It was justified why the use of expert systems can significantly improve the diagnosis and treatment of infectious diseases.

**Keywords:** mivar, mivar expert system, Wi!Mi, Big Knowledge, bacterial antibiotic resistance, automated production control systems, smart production systems, automated process control systems

Submitted 18.03.2025,

approved after reviewing 26.03.2025,

accepted for publication 03.04.2025

**For citation.** Salakhutdinova N.Ch., Varlamov O.O. The use of mivar expert systems for diagnosis of bacterial antibiotic resistance. *News of the Kabardino-Balkarian Scientific Center of RAS*. 2025. Vol. 27. No. 2. Pp. 55–73. DOI: 10.35330/1991-6639-2025-27-2-55-73

## ВВЕДЕНИЕ

Бактериальная устойчивость к антибиотикам является одной из серьезных угроз для глобального здравоохранения. С каждым годом патогены становятся более устойчивыми к существующим антибиотикам, что приводит к усложнению лечения инфекционных заболеваний и увеличению числа летальных случаев. Одним из ключевых решений данной проблемы является создание новых препаратов. Однако процесс разработки антибиотиков требует значительных ресурсов. В этом случае использование искусственного интеллекта (ИИ) и систем поддержки принятия решений (СППР) становится особенно актуальным. Существуют различные логические модели искусственного интеллекта, которые обладают своими преимуществами и недостатками [1]. Так, логика первого порядка дает возможность описания знаний об атрибутах объектов и их взаимосвязях, что делает ее подходящей для экспертных систем. Однако высокая вычислительная сложность и трудности в формализации знаний могут стать препятствиями для внедрения системы, основанной на такой модели логики. Многозначная логика учитывает неопределенность, расширяя область логического вывода, однако трудности в интерпретации результатов могут усложнить систему. Неопределенная логика позволяет работать с противоречивой информацией и строить гибкие системы искусственного интеллекта, но ее формализация и вычислительные методы могут быть сложными.

В то же время в области искусственного интеллекта продолжают исследования, направленные на разработку миварных технологий логического искусственного интеллекта (ЛИИ) [1].

Эти технологии используются во многих областях науки и техники. Исследования этических аспектов ИИ включали применение миварных технологий для скоринга кредитования [2]. Были рассмотрены логические, философские и этические аспекты применения ИИ в медицине [3], на основе миварных технологий представлено программное обеспечение для поддержки принятия решений в области безопасности термоллабильных компонентов крови [4] и для обнаружения падений людей, что имеет важное значение для качества жизни [5]. Кроме того, миварные системы были применены в области распределенных реестров, где предлагалось решение для выбора алгоритма консенсуса [6], также разработаны

системы динамического планирования траектории роботов, что значительно улучшило их работу [7]. В области 3D-моделирования активно развиваются миварные технологии для создания 3D-объектов [8].

С 1985 года миварные технологии развиваются и охватывают различные направления искусственного интеллекта [10], способствуя прогрессу всего человечества [11, 12]. Миварные технологии активно развиваются в области сетевых систем. В частности, исследования касаются создания миварных баз знаний для кластера НИИР для распараллеливания алгоритмов [13], подбора рекламных кампаний на основе сравнения многомерных векторов [14].

В медицинской сфере миварные технологии были задействованы для автоматизации исследований открытого артериального протока и слуха [15], а также для индивидуального контроля функций внешнего дыхания [16] и подбора полезных продуктов [17].

Обработка данных также является важной сферой. Так, миварные системы использовались для сегментации деревьев по анализу облаков точек [18]. Также они нашли применение в создании миварных баз знаний с использованием облачных технологий [19], больших лингвистических моделей [20], а также в смысловой обработке текстовых данных, что позволило работать с большими объемами информации более эффективно [21].

В сфере автоматизированных систем управления технологическими процессами (АСУТП) миварные технологии использовались для моделирования систем в виде двудольных и трехдольных графов [22] и поддержки принятия решений по категоризации критической информационной инфраструктуры [23]. Также они были применены для оптимизации вычислений на процессорах «Эльбрус» [24], в технической поддержке высоконагруженных кластеров [25], для улучшения безопасности и аналитики данных в локальных сетях, для категорирования критической информации инфраструктуры в АСУТП [26, 27].

В робототехнике и автономных системах миварные технологии улучшили функциональность роботов [28], в сельском хозяйстве были использованы для проектирования автономных комбайнов и тракторов для оптимизации сельскохозяйственных процессов [29], а также в контроле микроклимата в оранжереях, что способствовало улучшению условий для роста растений [30]. Использование LLM (Large Language Model) для создания баз знаний о культурах улучшило агротехнологии [31], а система для цифрового сельского хозяйства повысила продуктивность [33]. Создание «Логической интеллектуальной системы ухода за растениями» на основе подхода МИВАР открывает новые горизонты для оптимизации агрономических процессов [34]. В другой работе предлагается новый метод создания баз знаний МИВАР в таблично-матричной форме, что может значительно улучшить управление наземными интеллектуальными транспортными средствами [35]. Методы планирования для систем управления транспортными средствами и роботами с использованием подхода MIPRA также развиваются в рамках исследований [36].

Таким образом, исследование применения технологий ИИ для умных производственных систем в производстве является целесообразным в контексте создания Больших Знаний [9] и расширения областей внедрения миварных технологий ИИ [32]. Следовательно, данная тема работы актуальна и имеет значительное практическое значение.

#### АНАЛИЗ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

Диагностика бактериальной устойчивости к антибиотикам представляет собой сложный и многоэтапный процесс, включающий несколько ключевых шагов. Рассмотрим каждый этап отдельно.

Первый этап – это сбор образцов, которые могут содержать те или иные бактерии. Качество этих образцов играет важную роль, поскольку оно напрямую влияет на точность

дальнейших исследований. После образцы помещаются в питательные среды, созданные для роста колоний.

На следующем этапе проводится идентификация бактерий. Для этого применяются различные методы. Это могут быть традиционные микроскопические и биохимические тесты, которые помогают визуально наблюдать бактерии и выявлять химические свойства соответственно. Современные молекулярные методы, такие как ПЦР (полимеразная цепная реакция), позволяют идентифицировать специфические изменения в ДНК бактерий, что значительно повышает точность диагностики.

Следующий этап связан с тестированием чувствительности бактерий к антибиотикам. Для этого применяются такие методы, как дискодиффузионный (метод Кирби-Бауэра) и метод разбавлений. Эти методы позволяют точно оценить эффективность антибиотика в подавлении роста бактерий. На основе полученных данных определяется, какие антибиотики будут наиболее эффективными в лечении. Помимо этого, важно учитывать возможные генетические мутации и механизмы устойчивости, которые могут быть выявлены на данном этапе. Иногда требуется повторное тестирование. Это позволяет корректировать применение тех или иных антибиотиков в зависимости от изменений.

Этап интерпретации результатов также важен в процессе диагностики бактериальной устойчивости. На этом этапе анализируются данные о патогенах и их реакциях на антибиотики, определяется их чувствительность или устойчивость. Внедрение современных технологий в этот процесс значительно улучшает диагностику, что в свою очередь ведет к лучшим клиническим результатам.

Системный подход к интеграции инновационных технологий будет основным фактором, способствующим успешной борьбе с бактериальной устойчивостью. Несмотря на значительные успехи в этих областях, существует ряд проблем, которые замедляют этот процесс. Одной из основных проблем является широкое распространение устойчивости бактерий к антибиотикам. Основные причины этого заключаются в нерациональном использовании антибиотиков в медицине, а также в генетических мутациях бактерий и их способности быстро адаптироваться. Хотя интеллектуальные системы могут помочь в предсказании устойчивости, важно учитывать, что бактерии могут мутировать. Другой проблемой является медленный процесс разработки новых антибиотиков. Это длительный процесс, поскольку клинические испытания требуют затрат времени. Причины этого состоят в том, что при разработке имеются риски, связанные с возможным негативным воздействием на здоровье человека. Использование интеллектуальных систем может значительно ускорить процесс создания новых препаратов. Таким образом, для повышения эффективности и ускорения этих процессов необходимо преодолеть ряд вызовов.

В рамках данной статьи рассматриваются методы применения миварных экспертных систем для диагностики бактериальной устойчивости к существующим антибиотикам.

#### АНАЛИЗ СУЩЕСТВУЮЩИХ СИСТЕМ

В сфере разработки антибиотиков интеллектуальные системы играют значительную роль, особенно в таких аспектах, как прогнозирование бактериальной устойчивости, обнаружение новых антибиотиков и оптимизация производственных процессов. В последние годы растет практическое применение нейронных сетей. Тем не менее, выбор между нейронными сетями и экспертными системами зависит от специфики самой задачи. В статье «Artificial Intelligence for Antimicrobial Resistance Prediction: Challenges and Opportunities

towards Practical Implementation» [37] рассмотрены современные достижения в области искусственного интеллекта для решения проблем и использования возможностей, связанных с антибиотикорезистентностью. Представлен обзор современных вызовов и возможностей. К ним относятся входные характеристики, создающие проблемы при использовании, современные модели глубокого/машинного обучения для надежности и высокой точности, а также вызовы и перспективы применения этих технологий для практических целей. Статья завершается призывом к применению ИИ в секторе антимикробная резистентность (АМР) с целью практической диагностики и лечения, поскольку в настоящее время большинство исследований находятся на ранних стадиях с минимальным применением в практике диагностики и лечения заболеваний.

Исследование Руи Тана и др. [38] подчеркивает важность машинного обучения в прогнозировании АМР. Наиболее часто используемыми алгоритмами в предсказании с помощью машинного обучения были логистическая регрессия ( $n = 14$  исследований), деревья решений ( $n = 14$ ) и случайные леса ( $n = 7$ ). Диапазон AUC (Area Under the Curve) для предсказаний с использованием машинного обучения составил 0,48–0,93. Полученные результаты свидетельствуют о том, что машинное обучение может быть полезной технологией для прогнозирования АМР; однако ретроспективная методология разработки моделей, нестандартная обработка данных и отсутствие валидации в рандомизированном контролируемом исследовании или исследовании в реальных условиях ограничивают использование этих моделей в клинической практике.

Обзор Хазрата Билала и др. синтезирует потенциальную роль искусственного интеллекта и машинного обучения (ИИ/МО) в минимизации АМР. Они исследуют различные применения ИИ и МО в борьбе с АМР, подчеркивая важность интегрированных подходов, учитывающих множество аспектов [39].

Сьёрд де Врис и др. обнаружили, что комбинация результатов анализа мочи, окраски по Граму и других доступных критериев может успешно предсказать инфекцию мочевыводящих путей (ИМП) [40]. На основе собранной информации они разработали систему поддержки клинических решений (CDSS), использующую надежный метод полуконтролируемого ансамблевого обучения (RESSEL), который оказался более точным, чем анализ мочи и посев мочи для предсказания ИППП (инфекций, передающихся половым путем). CDSS предоставляет клиницистам этот прогноз в течение нескольких часов после заказа анализа, что позволяет им избежать преждевременного назначения антибиотиков при инфекциях мочевыводящих путей, ожидая результатов анализа.

Кроме того, Мариам Форуги и др. исследуют роль машинного обучения в мониторинге антибиотикорезистентности в воде и сточных водах, освещая экологический аспект АМР [41]. Их исследование подчеркивает важность отслеживания устойчивости в различных экосистемах, поскольку системы водоснабжения и сточных вод могут служить резервуарами для устойчивых патогенов, которые влияют как на здоровье человека, так и на окружающую среду.

Таким образом, происходит активное внедрение методов искусственного интеллекта и систем поддержки принятия решений в сферу диагностики антибиотикорезистентности.

#### ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ

Разработка системы для диагностики бактериальной устойчивости и прогнозирования новых антибиотиков на основе интеллектуальных технологий требует учета множества факторов, чтобы она была точной, эффективной и применимой в реальной практике в медицине и фармацевтике.

Первое, на что стоит обратить внимание, – это функциональные требования. Система должна уметь определять устойчивость бактерий к существующим антибиотикам, используя генетические данные, информацию о взаимодействиях с лекарствами и учитывая влияние внешней среды. Также важно, чтобы система могла предсказать распространение устойчивых штаммов в разных регионах и как различные методы лечения могут повлиять на этот процесс.

Нефункциональные требования также играют важную роль. Система должна обеспечивать точность прогнозирования бактериальной устойчивости на основе входных данных.

Технические требования включают поддержку различных алгоритмов. Система должна поддерживать разные алгоритмы, а также иметь возможность адаптироваться, когда появляются новые данные о бактериях и антибиотиках. Важно, чтобы система могла эффективно обрабатывать большие объемы данных.

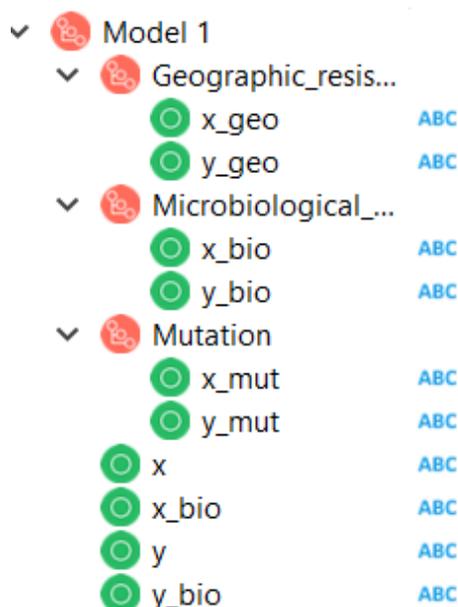
Таким образом, создание системы на основе интеллектуальной системы для диагностики бактериальной устойчивости и прогнозирования новых антибиотиков требует комплексного подхода, учитывающего функциональные, нефункциональные и технические требования. Для создания миварной экспертной системы (МЭС) необходимо провести разноплановую научную и практическую работу, причем силами людей разных специальностей, которые должны быть объединены в коллектив. Перейдем к решению нашей задачи создания МЭС.

#### МОДЕЛЬ ОПИСАНИЯ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ, ОБРАБОТКИ ИНФОРМАЦИИ И ИИ В ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ В ФОРМАЛИЗМЕ МИВАРНЫХ СЕТЕЙ

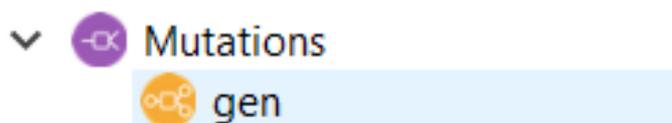
МЭС обладают рядом характеристик, которые делают их ценными в различных областях. Они имеют модульную архитектуру, что позволяет легко добавлять, обновлять или заменять отдельные модули без необходимости переписывать всю систему, обеспечивая гибкость в адаптации к новым данным. МЭС также могут включать специализированные модули для различных аспектов диагностики и предсказания устойчивости, таких как анализ генетических данных, клинических испытаний и взаимодействий с антибиотиками. Например, они могут объединять данные о бактериальной устойчивости, клинические данные и генетическую информацию.

Перейдем к разработке модели системы с помощью ПО КЭСМИ. Программа обеспечивает создание и редактирование качественных моделей ситуаций и предметных областей, а также выполняет структурный анализ моделей, позволяя получать логический вывод решения и объяснять его в виде последовательности выполненных действий. КЭСМИ имеет модульную структуру, что позволяет добавлять новые компоненты.

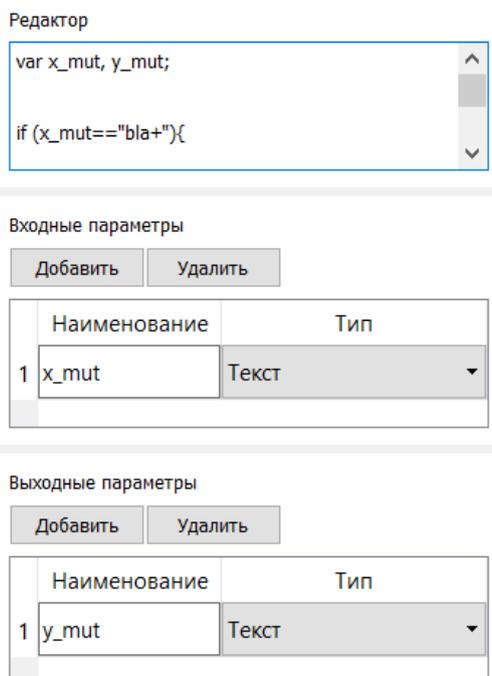
Были созданы предварительные классы и параметры системы для дальнейшей разработки отношений и правил (рис. 1). Класс *Geographic\_resistance* создан для прогнозирования устойчивости микроорганизмов в зависимости от тех или иных географических особенностей в связи с тем, что методики лечения в разных странах могут отличаться. Далее создан класс *Microbiological\_examination* для решения задачи прогнозирования по химической и физической структуре микроорганизма. Также создан класс *Mutation* для предоставления прогнозирования резистентности в зависимости от тех или иных генетических мутаций. Для каждого класса были созданы отношения с правилами (рис. 2, 3).



**Рис. 1.** Часть созданных классов и параметров системы  
**Fig. 1.** Part of the created classes and system parameters



**Рис. 2.** Отношение “Mutation” с правилом “gen” (пример)  
**Fig. 2.** The “Mutation” relation with the “gen” rule (example)



**Рис. 3.** Правило “gen” с прописанным сложным условным выражением  
**Fig. 3.** The “gen” rule with a complex conditional expression written in it

Правила разрабатывались на основе ранее созданной базы знаний. Такой подход позволил учесть различные аспекты. Кроме того, использование уже существующей базы знаний позволило избежать дублирования усилий и сосредоточиться на актуальных вопросах, требующих решения. Пример правил показан в таблице 1.

**Таблица 1.** Пример правил базы знаний (фрагмент)

**Table 1.** Example of knowledge base rules (fragment)

№	Если	То
1	Если микроорганизм имеет мутации в генах bla и mecA,	То антибиотик, который неэффективен, – бета-лактамы
2	Если микроорганизм имеет механизмы, позволяющие ему модифицировать антибиотики (например, метилирование рибосом),	То это может привести к устойчивости к макролидам и аминогликозидам
3	Если микроорганизм имеет мутацию в гене, связанном с метициллиновой резистентностью (например, ген mecA),	То антибиотик, который может быть менее эффективен, – метициллин
4	Если микроорганизм имеет измененные порины,	То это может снизить проницаемость для $\beta$ -лактамов
5	Если структура клеточной стенки микроорганизма содержит специфические белки (например, PBP2a у Staphylococcus aureus),	То это может влиять на его чувствительность к метициллину и другим $\beta$ -лактамам
6	Если микроорганизм образует биопленку,	То потребуется использование препаратов, способных разрушать биопленку (например, энзимы или комбинации антибиотиков) с вероятностью эффективности 80–95%
7	Если микроорганизм грамположителен, а молекулярная структура антибиотика имеет сходство с производными пенициллина,	То вероятность устойчивости составляет 60–85 %
8	Если микроорганизм имеет механизмы активного выведения антибиотиков (например, через эффлюксные насосы),	То это может привести к устойчивости к множеству антибиотиков, включая тетрациклины и макролиды
9	Если микроорганизм не имеет мутаций в генах, связанных с устойчивостью к линезолиду,	То антибиотик, который эффективен, – линезолид.
10	Если микроорганизм подвергается длительному воздействию антибиотиков из одного класса антибиотиков (например, бета-лактамов),	То устойчивость к этому классу повышается до 70–90 %

Также выполним реализацию миварной экспертной системы в ПО КЭСМИ. Приведем фрагмент формальной реализации миварной экспертной системы (приложение 1).

### **Приложение 1. Реализация миварной экспертной системы**

#### **Application 1. Implementation of the mivar expert system**

```

<model id="{7e561505-fe5f-4dc5-874a-80ab05eb909c}" short-
Name="Model 1" formatXmlVersion="2.0" description="Model 1">
  <class id="{bce4821c-bc09-4972-84ea-7cb416158a2e}" short-
Name="Model 1">
    <parameters>
      ...
    </parameters>
  </class>
</model>

```

```

    <rules>
      <rule id="685b03ac-f0da-446e-b374-2264bbfbbfb2"
shortName="An" relation="2c55241f-ec47-4deb-a5f1-5803a8d13d31"
resultId="y:93c20c97-c1f0-4a07-9437-c9b972122a04" ini-
tId="x:dc8387de-4574-4182-b259-6caef80c40c8"/>
      <rule id="fc976684-4a6d-4ac7-95d9-7d561cd3f7de"
shortName="Ch" relation="d4894089-7706-4a10-a8fb-90036f90b067"
resultId="y:93c20c97-c1f0-4a07-9437-c9b972122a04" ini-
tId="x:dc8387de-4574-4182-b259-6caef80c40c8"/>
    </rules>
  <constraints/>
  <classes>
    <class id="2bfdf5ff-581a-44fa-b50f-ab45c876caf4"
shortName="Geographic_resistance">
      <parameters>
        <parameter id="3b9bb702-26e4-402e-93ce-
f8668b29b4b1" shortName="x_geo" type="string"/>
        <parameter id="5f53b0e5-051b-4f3b-ad46-
74d46082eb72" shortName="y_geo" type="string"/>
      </parameters>
      <rules/>
      <constraints/>
      <classes/>
    </class>
    <class id="594a37f9-9f8c-4142-b478-d90b45f2d82c"
shortName="Mutation">
      <parameters>
        <parameter id="957aa9d8-ed1a-4fd4-84b2-
d06fc07962a2" shortName="y_mut" type="string"/>
        <parameter id="ea90a28b-2bb9-4c54-9053-
dba0b371af95" shortName="x_mut" defaultValue="-"
type="string"/>
      </parameters>
      <rules>
        <rule id="f2674ad3-1454-4d6e-8026-
eaf26ab67282" shortName="gen" relation="97cbcf14-ac35-4fbd-
b8a8-38eb5cf028ae" resultId="y_mut:957aa9d8-ed1a-4fd4-84b2-
d06fc07962a2" initId="x_mut:ea90a28b-2bb9-4c54-9053-
dba0b371af95"/>
      </rules>
      <constraints/>
      <classes/>
    </class>
    <class id="f5b76d0c-1335-48ab-9131-91dc3a21a78c"
shortName="Microbiological_examination">
      <parameters>
        <parameter id="191572e9-dae8-4b87-aa58-

```

```

3d0dd2da0f07" shortName="y_bio" type="string"/>
    <parameter id="d9994431-800d-419e-b6c9-
a3f296de52bb" shortName="x_bio" type="string"/>
  </parameters>
  <rules>
    <rule id="0ccca8bd-b6e6-4d96-a26b-
534394210e53" shortName="Exns" relation="fb581a17-382c-48b3-
8634-02feadcaa134" resultId="y_bio:191572e9-dae8-4b87-aa58-
3d0dd2da0f07" initId="x_bio:d9994431-800d-419e-b6c9-
a3f296de52bb"/>
  </rules>
  <constraints/>
  <classes/>
</class>
</classes>
</class>
<relations>
  <relation id="2c55241f-ec47-4deb-a5f1-5803a8d13d31"
shortName="Anaerobic" inObj="x:string" relationType="ifclause"
outObj="y:string">if (x=="анаэробный")
{y="устойчивость_к_тетрациклинам"; } else
{y="можно_использовать_тетрациклины"; }</relation>
  <relation id="97cbcf14-ac35-4fbd-b8a8-38eb5cf028ae"
shortName="Mutations" inObj="x_mut:string" relationType="prog"
outObj="y_mut:string">var x_mut, y_mut; if (x_mut=="bla+") {
y_mut="есть_вероятность_устойчивости_к_бета-лактамам"; } if
(x_mut= "erm+") {
y_mut="есть_вероятность_устойчивости_к_эритромицину"; } if
(x_mut= "mecA+") {
y_mut="есть_вероятность_устойчивости_к_метициллину_и_бета-лак-
там"; } </relation>
  <relation id="cb979c54-6577-44c7-9726-630946f2688d"
shortName="Geographic_resistances" inObj="x_geo:string" rela-
tionType="prog" outObj="y_geo:string">var x_geo, y_geo; if(
(x_geo=="в_регионе_высокая_частота_устойчивости_Streptococ-
cus_pneu-
moniae_к_пенициллину") || (x_geo=="высокая_частота_устойчивости_S
treptococcus_pneumoniae_к_пенициллину")) {
y_geo="следует_использовать_другие_антибиотики_такие_как_амокси-
циллин_с_клавулановой_кислотой"; } if(
(x_geo=="в_регионе_увеличилась_частота_устойчивости_Pseudomo-
nas_aeru-
ginosa_к_фторхинолонам") || (x_geo=="увеличилась_частота_устойчив-
ости_Pseudomonas_aeruginosa_к_фторхинолонам")) {
y_geo="следует_использовать_аминогликозиды_или_карбапенемы";
}</relation>
  <relation id="d4894089-7706-4a10-a8fb-90036f90b067"

```

```

shortName="Check" inObj="x:string" relationType="ifclause" outObj="y:string">if (x=="gram+") {y="устойчив_к_метициллину";} else {y="устойчив_к_ампициллину";}</relation>
    <relation id="fb581a17-382c-48b3-8634-02feadcaal34" shortName="Microbiological_examinations" inObj="x_bio:string" relationType="prog" outObj="y_bio:string">var x_bio,y_bio; if (x_bio=="модифицированные_рибосомы"){ y_bio="устойчивость_к_антибиотикам_нарушающим_синтез_белка_(аминогликозиды_и_макролиды)" } if (x_bio=="чувствительность_к_карбапенемам"){ y_bio="наличие_генов_устойчивости_к_карбапенемам" } </relation>
    </relations>
</model>

```

### ПРОВЕДЕНИЕ ТЕСТИРОВАНИЯ МИВАРНОЙ ЭКСПЕРТНОЙ СИСТЕМЫ

В связи с ограниченным объемом публикации покажем только один пример такого тестирования из всех проведенных.

Тест: Анализ образца, содержащего мутацию гена *mecA*.

Эта мутация является ключевым маркером, указывающим на потенциальную устойчивость к определенным классам антибиотиков. Мутация в гене *mecA* ассоциирована с резистентностью к метициллину, который является представителем класса бета-лактамов антибиотиков. Это означает, что микроорганизмы с данной мутацией способны вырабатывать белок, который нарушает действие антибиотиков, препятствуя их связыванию с целевыми мишенями в клеточной стенке бактерий.

Для анализа устойчивости мы будем использовать разработанную базу знаний, которая содержит информацию о различных патогенах и их реакциях на антибиотики. В частности, в нашей базе знаний реализовано правило, обозначенное как «правило 1+3». Это правило подразумевает, что наличие мутации *mecA* (правило 1) в сочетании с другими факторами (правило 3) указывает на устойчивость к метициллину и другим бета-лактамам антибиотикам (рис. 4, 5).

<ul style="list-style-type: none"> <li>▼ Mutation</li> <li style="padding-left: 20px;">x_mut</li> <li style="padding-left: 20px;">y_mut</li> </ul>	<div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <p><b>mecA+</b></p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <p><b>есть вероятность устойчивости к метициллину и бета-лактамам</b></p> </div>	<input type="checkbox"/>  <input checked="" type="checkbox"/>
--	---	---

*Рис. 4. Результат / Fig. 4. Result*

```

if (x_mut= "mecA+"){
    y_mut="есть вероятность устойчивости к метициллину и бета-лактамам";
}
Результат: y_mut=есть вероятность устойчивости к метициллину и бета-лактамам;

```

*Рис. 5. Результат / Fig. 5. Result*

На втором этапе тестирования мы будем анализировать микроорганизм с метилированными рибосомами. Для анализа устойчивости мы снова обратимся к разработанной базе знаний, в которой реализовано правило 2. Это правило гласит, что наличие метилированных рибосом в микроорганизме указывает на его устойчивость к макролидам и аминогликозидам. Это именно тот ответ, который выдаст система.

В третьем тестировании было установлено, что микроорганизм является грамположительным. Согласно установленным правилам, в частности правилу 7, можно сделать вывод, что этот микроорганизм проявляет устойчивость к пенициллину. Это связано с тем, что грамположительные микроорганизмы, особенно такие как стафилококки, могут вырабатывать бета-лактамазу или иметь другие механизмы, которые позволяют им сопротивляться действию пенициллина, что делает лечение инфекций, вызванных этими микроорганизмами, более сложным и требующим использования альтернативных антибиотиков.

Таким образом, миварная экспертная система продемонстрировала свою эффективность, выдавая правильные выводы в различных ситуациях. Это демонстрирует не только высокий уровень точности системы, но и ее универсальность.

### ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Наше исследование в области умных производственных систем продемонстрировало, что создание миварной экспертной системы является не только возможным, но и целесообразным шагом для повышения уровня интеллектуализации процессов принятия решений и обработки информации.

В ходе реализации проекта была проведена комплексная работа, включающая системный анализ предметной области. Мы создали миварную базу знаний, которая включает 56 правил, описывающих процессы принятия решений и обработки информации. Также был обоснован выбор методов и алгоритмов, что позволило эффективно решать задачи в данной области. Была реализована миварная экспертная система, проведенное тестирование подтвердило работоспособность миварных моделей в контексте умных производственных систем.

Эволюционное развитие созданной миварной экспертной системы обеспечивается ее способностью к адаптации: в любой момент можно добавлять, изменять или удалять правила. Это было подтверждено в процессе работы над проектом, когда новые правила были успешно интегрированы в систему.

Модель экспертной системы, разработанная для автоматизации диагностики бактериальной устойчивости, подчеркивает важность наличия качественных и полных данных. В условиях клинической практики, где требуется быстрая реакция на выбор антибиотиков, развитие технологий в этой области становится критически важным. Своевременная и точная диагностика инфекций, а также правильный выбор антибиотикотерапии являются ключевыми аспектами в борьбе с бактериальной резистентностью.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Варламов О. О.* Эволюционные базы данных и знаний для адаптивного синтеза интеллектуальных систем. Миварное информационное пространство. М.: Радио и связь, 2002. 286 с. EDN: RWTCOP
2. *Торжков М. С., Королева Ю. П., Балдин А. В. и др.* Создание миварной экспертной системы для выполнения этических аспектов искусственного интеллекта для скоринга

кредитования // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 4(35). С. 139–150. DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-139-150. EDN: BHOQXX

3. *Varlamov O.O., Chuvikov D.A., Adamova L.E. et al.* Logical, philosophical and ethical aspects of AI in medicine // International Journal of Machine Learning and Computing. 2019. Vol. 9. No. 6. Pp. 868–873. DOI: 10.18178/IJMLC. EDN: XJPKWA

4. *Varlamov O.O., Chuvikov D.A., Lemondzhava V.N. et al.* A software package supporting decision making on the safety of thermolabile blood components // Biomedical Engineering. 2022. Vol. 55. No. 5. Pp. 355–359. DOI: 10.1007/s10527-022-10135-0. EDN: ICRHIB

5. *Мащенко Е. И., Карпов Д. К., Варламов О. О. и др.* Создание миварной экспертной системы для понимания образов и принятия решений при обнаружении падений людей // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 4(35). С. 88–100. DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-88-100. EDN: FGLHZZ

6. *Подопригорова Н. С., Козырев С. А., Подопригорова С. С. и др.* Разработка миварной экспертной системы для выбора алгоритма консенсуса распределенных реестров // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 4(35). С. 126–138. DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-126-138. EDN: AVXOTO

7. *Шэнь Ц., Гун Ш., Варламов О.О. и др.* Динамическое планирование траектории робота на основе семантического обнаружения объектов с использованием миварной экспертной системы // Проблемы искусственного интеллекта. 2024. № 4(35). С. 164–176. DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-164-176. EDN: DHVOFC

8. *Chuvikov D.A., Kazakova N.A., Varlamov O.O., Golovizhin A.V.* 3D modeling and 3D objects creation technology analysis for various intelligent systems // International Journal of Advanced Studies. 2014. Vol. 4. No. 4. Pp. 16–22. DOI: 10.12731/2227-930X-2014-4-3. EDN: TEBOFL

9. *Варламов О. О.* Создание Больших Знаний и расширение областей применения миварных технологий логического искусственного интеллекта // Информационные и математические технологии в науке и управлении. 2023. № 4(32). С. 30–41. DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.003. EDN: THBEWN

10. *Варламов О. О.* Миварные технологии как некоторые направления искусственного интеллекта // Проблемы искусственного интеллекта. 2015. № 1(1). С. 23–37. EDN: WDNPGZ

11. *Варламов О. О.* Автоматизация умственной деятельности людей через логический искусственный интеллект как фундаментальный механизм развития или гибели человечества // Проблемы искусственного интеллекта. 2017. № 3(6). С. 23–31. EDN: YNTRSV

12. *Варламов О. О., Лазарев В. М., Чувииков Д. А.* О перспективах создания автономных интеллектуальных роботов на основе миварных технологий // Радиопромышленность. 2016. № 4. С. 96–105. EDN: UQEVLG

13. *Владимиров А. Н., Носов А. В., Потапова Т. С.* Применение многопроцессорного вычислительного кластера НИИР для распараллеливания алгоритмов в научно-технических и вычислительных задачах // Труды НИИ Радио. 2009. № 3. С. 120–123. EDN: KYNLNN

14. *Семенов А. А.* Исследование способов подбора рекламных кампаний на основе сравнения многомерных векторов // Проблемы искусственного интеллекта. 2020. № 1(16). С. 89–104. EDN: UEBEPL

15. *Штрак А. А.* Миварная база знаний для автоматизации исследования открытого артериального протока и слуха // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 548–556. EDN: SXPYDW

16. Клинова В. К. МБЗ портативного спирометра для обеспечения индивидуального контроля функций внешнего дыхания // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 557–561. EDN: GHUNIK
17. Аброчнов Е. С., Соловьева А. М., Макеев В. А. и др. МЭС подбора полезных продуктов // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 536–542. EDN: MRBKXC
18. Овчинников Д. А., Милевич А. А., Фонин М. А. и др. МЭС для улучшения сегментации деревьев из облака точек // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 293–297. EDN: NOGUPU
19. Абдрашитова А. Н., Вардумян А. Т., Головацкий А. Д. и др. Облачная система создания МБЗ // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 455–459. EDN: LKDKGC
20. Чувииков Д. А., Ким Р. И., Балдин А. В. Анализ больших языковых моделей для построения диалоговых систем // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 426–431. EDN: IWVZPS
21. Варламов О. О., Егоров С. А. Развитие миварных технологий смысловой обработки потоков текстовых данных // МИВАР'22: Сборник научных статей. 2022. С. 194–212. EDN: PBFFTZ
22. Коценко А. А. Анализ применения для АСУТП миварных сетей в формате двудольных и трехдольных графов // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 432–438. EDN: GLJGZV
23. Хабчаева А. Р., Чежсегова П. А. и др. МЭС для категорирования КИИ в АСУТП // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 37–41. EDN: VEAGPO
24. Коваленко А. В., Кондрахин С. С., Смыслов Д. О. МЭС по подбору игрового тренажера для развития навыков управления транспортным средством // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 67–72. EDN: ZOHOUI
25. Рудзинский В. В. МБЗ техподдержки высоконагруженного безотказного кластера // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 169–173. EDN: ZJYOTC
26. Старых Ф. А. МЭС оценки содержимого пакетных данных в локальной сети // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 102–106. EDN: FKVQMO
27. Плеваков В. И. Разработка миварной машины логического вывода для процессора Эльбрус. МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 450–454. EDN: EJDSAK
28. Коценко А. А. Разработка моделей миварного логического пространства для обеспечения трехмерного движения автономных роботов // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 361–366. EDN: HBLZQY
29. Синицын Л. С. Платформа для СПР робота на базе гибридной интеллектуальной системы // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 384–388. EDN: QOSPPH
30. Варламов О. О. О создании на основе миварных систем принятия решений «РОБО!РАЗУМ» групп автономных комбайнов и тракторов для сельского хозяйства // Проблемы искусственного интеллекта. 2019. № 2(13). С. 49–62. EDN: AMUYCK
31. Федюнев А. Ю., Нестеров Ю. Г., Правдина А. Д. МЭС для контроля микроклимата в оранжерее // МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 107–112. EDN: HSWYCS
32. Варламов О. О. 2024: обзор областей применения миварных технологий ЛИИ. МИВАР'24: Сборник научных статей. 2024. С. 7–15. EDN: ATMAZU
33. Andreev A., Kotsenko A., Varlamov O. et al. Text processing using LLM for automatic creation of agricultural crops knowledge bases // Bio Web of Conferences: International scientific conference on biotechnology and food technology (BFT-2024). Les Ulis: EDP Sciences, 2024. Vol. 130. P. 01029. DOI: 10.1051/bioconf/202413001029. EDN: YTLLEMF

34. Aladin D.V., Aladina E. V., Chuvikov D.A. et al. Creating a "Logical intelligent plant care system" in digital agriculture based on Mivar approach // IOP Conference Series: Earth and Environmental Science, 2022. Vol. 954. P. 012004. DOI: 10.1088/1755-1315/954/1/012004. EDN: HODWVY

35. Chuvikov D.A., Aladin D.V., Adamova L.E. et al. A new method for creating Mivar knowledge bases in tabular-matrix form for ground intelligent vehicle control systems // Journal of Physics: Conference Series: International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering, 2021. Vol. 2061. P. 012123. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012123. EDN: SLARYS

36. Aladin D.V., Varlamov O.O., Chuvikov D.A. et al. Control of vehicles and robots: Creation of planning systems in the state space (MIPRA) // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference of Young Scientists and Students "Topical Problems of Mechanical Engineering", 2020. Vol. 747. P. 012097. DOI: 10.1088/1757-899X/747/1/012097. EDN: OYOOVR

37. Tabish A., Sarfaraz Ah., Muhammad A. Artificial Intelligence for Antimicrobial Resistance Prediction: Challenges and Opportunities towards Practical Implementation // Antibiotics (Basel), 2023. Vol. 12. No. 3. P. 523. DOI: 10.3390/antibiotics12030523

38. Tang R., Luo R., Tang S. et al. Machine learning in predicting antimicrobial resistance: a systematic review and meta-analysis // Int J Antimicrob Agents. 2022. No. 60(5–6). P. 106684. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2022.106684

39. Bilal H., Khan M.N., Khan S. et al. The role of artificial intelligence and machine learning in predicting and combating antimicrobial resistance // Comput Struct Biotechnol J. 2025. No. 27. Pp. 423–439. Available at: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11791014/> (accessed 01.03.2025)

40. De Vries S., Ten Doesschate T., Totté JEE. et al. A semi-supervised decision support system to facilitate antibiotic stewardship for urinary tract infections // Comput Biol Med. 2022. No. 146. P. 105621. DOI: 10.1016/j.combiomed.2022.105621

41. Foroughi M., Arzehgar A., Seyedhasani S.N. et al. Application of machine learning for antibiotic resistance in water and wastewater: A systematic review // Chemosphere. 2024 DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.142223

## REFERENCES

1. Varlamov O.O. *Evolyutsionnyye bazy dannykh i znaniy dlya adaptivnogo sinteza intellektual'nykh sistem. Mivarnoye informatsionnoye prostranstvo* [Evolutionary databases and knowledge for adaptive synthesis of intelligent systems. mivar information space]. Moscow: Radio i svyaz'. 2002. 286 p. EDN: RWTCOP. (In Russian)

2. Torzhkov M.S., Koroleva Yu.P., Baldin A.V., et al. Creation of a mivar expert system for addressing ethical aspects of artificial intelligence for credit scoring. *Problems of Artificial Intelligence*. 2024. No. 4(35). Pp. 139–150. DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-139-150. EDN: BHOQXX. (In Russian)

3. Varlamov O.O., Chuvikov D.A., Adamova L.E. et al. Logical, philosophical and ethical aspects of AI in medicine. *International Journal of Machine Learning and Computing*. 2019. Vol. 9. No. 6. Pp. 868–873. DOI: 10.18178/IJMLC. EDN: XJPKWA

4. Varlamov O.O., Chuvikov D.A., Lemondzhava V.N. et al. A software package supporting decision making on the safety of thermolabile blood components. *Biomedical Engineering*. 2022. Vol. 55. No. 5. Pp. 355–359. DOI: 10.1007/s10527-022-10135-0. EDN: ICRHIB.

5. Mashchenko E.I., Karpov D.K., Varlamov O.O. et al. Creation of a mivar expert system for understanding images and decision-making in fall detection. *Problems of Artificial Intelligence*. 2024. No. 4(35). Pp. 88–100. DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-88-100. EDN: FGLHZZ. (In Russian)
6. Podoprigrorova N.S., Kozyrev S.A., Podoprigrorova S.S. et al. Development of a mivar expert system for consensus algorithm selection in distributed ledgers. *Problems of Artificial Intelligence*. 2024. No. 4(35). Pp. 126–138. DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-126-138. EDN: AVXOTO. (In Russian)
7. Shen C., Gun Sh., Varlamov O.O. et al. Dynamic trajectory planning for robots based on semantic object detection using a mivar expert system. *Problems of Artificial Intelligence*. 2024. No. 4(35). Pp. 164–176. DOI: 10.24412/2413-7383-2024-4-164-176. EDN: DHVOFC. (In Russian)
8. Chuvikov D.A., Kazakova N.A., Varlamov O.O., Golovizhin A.V. 3D Modeling and 3D objects creation technology analysis for various intelligent systems. *International Journal of Advanced Studies*. 2014. Vol. 4. No. 4. Pp. 16–22. DOI: 10.12731/2227-930X-2014-4-3. EDN: TEBOFL
9. Varlamov O.O. Creation of large knowledge bases and expansion of the application areas of mivar logical artificial intelligence technologies. *Information and Mathematical Technologies in Science and Management*. 2023. No. 4(32). Pp. 30–41. DOI: 10.25729/ESI.2023.32.4.003. EDN: THBEWN. (In Russian)
10. Varlamov O.O. Mivar technologies as certain directions of artificial intelligence. *Problems of Artificial Intelligence*. 2015. No. 1(1). Pp. 23–37. EDN: WDNPGZ. (In Russian)
11. Varlamov O.O. Automation of Human Mental Activities via Logical Artificial Intelligence as a Fundamental Mechanism for Humanity's Development or Destruction. *Problems of Artificial Intelligence*. 2017. No. 3(6). Pp. 23–31. EDN: YNTRSV. (In Russian)
12. Varlamov O.O., Lazarev V.M., Chuvikov D.A. On the prospects of creating autonomous intelligent robots based on mivar technologies. *Radio Industry*. 2016. No. 4. Pp. 96–105. EDN: UQEVLG. (In Russian)
13. Vladimirov A.N., Nosov A.V., Potapova T.S. Application of the multiprocessor computing cluster niir for parallelizing algorithms in scientific-technical and computational tasks. *Trudy NII Radio* [Proceedings of the NIIR Radio Institute]. 2009. No. 3. Pp. 120–123. EDN: KYNLNN. (In Russian)
14. Semenov A.A. Research on the selection methods for advertising campaigns based on comparison of multidimensional vectors. *Problems of Artificial Intelligence*. 2020. No. 1(16). Pp. 89–104. EDN: UEBEPL. (In Russian)
15. Shtrak A.A. Mivar knowledge base for automating the study of patent ductus arteriosus and hearing. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 548–556. EDN SXPYDW. (In Russian)
16. Klinova V.K. Mivar knowledge base of portable spirometer for individual control of external respiratory functions. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 557–561. EDN: GHUNIK. (In Russian)
17. Abrochnov E.S., Solovyeva A.M., Makeev V.A. et al. MES for selecting beneficial products. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 536–542. EDN: MRBKXC. (In Russian)
18. Ovchinnikov D.A., Milevich A.A., Fonin M.A. et al. MES for improving the segmentation of trees from a point cloud. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 293–297. EDN: NOGUPU. (In Russian)

19. Abdrashitova A.N., Vardumyan A.T., Golovatsky A.D. et al. Cloud system for creating mivar knowledge bases. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 455–459. EDN: LKDKGC. (In Russian)
20. Chuvikov D.A., Kim R.I., Baldin A.V. Analysis of large language models for building dialog systems. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 426–431. EDN: IWVZPS. (In Russian)
21. Varlamov O.O., Egorov S.A. Development of mivar technologies for semantic processing of text data streams. *MIVAR'22: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'22: Collection of Scientific Articles]. 2022. Pp. 194–212. EDN: PBFFTZ. (In Russian)
22. Kotsenko A.A. Analysis of the application of mivar networks for automated process control systems using bipartite and tripartite graphs. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 432–438. EDN: GLJGZV. (In Russian)
23. Khabchaeva A.R., Chezegova P.A. et al. MES for categorizing critical information infrastructure in automated process control systems. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 37–41. EDN: VEAGPO. (In Russian)
24. Kovalenko A.V., Kondrakhin S.S., Smyslov D.O. MES for selecting a driving simulator for vehicle control skills development. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 67–72. EDN: ZOYOU. (In Russian)
25. Rudzinsky V.V. Mivar knowledge base for technical support of high-load fail-safe clusters. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 169–173. EDN: ZJYOTC. (In Russian)
26. Starykh F.A. MES for evaluating the content of packet data in a local network. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 102–106. EDN: FKVQMO. (In Russian)
27. Pleshakov V.I. Development of a mivar logical inference machine for the Elbrus processor. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 450–454. EDN: EJDCAK. (In Russian)
28. Kotsenko A.A. Development of mivar logical space models for ensuring 3d movement of autonomous robots. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 361–366. EDN: HBLZQY. (In Russian)
29. Sinitsyn L.S. Platform for SPR robot based on hybrid intelligent system. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 384–388. EDN: QOSPPI. (In Russian)
30. Varlamov O.O. On the creation of autonomous harvesters and tractors for agriculture based on mivar decision-making systems "ROBO!RAZUM". *Problemy iskusstvennogo intellekta* [Problems of Artificial Intelligence]. 2019. No. 2(13). Pp. 49–62. EDN: AMUYCK. (In Russian)
31. Fedyunov A.Yu., Nesterov Yu.G., Pravdina A.D. MES for climate control in a greenhouse. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 107–112. EDN: HSWYCI. (In Russian)
32. Varlamov O.O. 2024: An overview of the application areas of mivar logical artificial intelligence technologies. *MIVAR'24: Sbornik nauchnykh statey* [MIVAR'24: Collection of Scientific Articles]. 2024. Pp. 7–15. EDN: ATMAZU. (In Russian)
33. Andreev A., Kotsenko A., Varlamov O. et al. Text Processing using LLM for automatic creation of agricultural crops knowledge bases. *Bio Web of Conferences: International Scientific*

*Conference on Biotechnology and Food Technology (BFT-2024)*. Vol. 130. Les Ulis: EDP Sciences, 2024. P. 01029. DOI: 10.1051/bioconf/202413001029. EDN: YTLLMF

34. Aladin D.V., Aladina E.V., Chuvikov D.A. et al. Creating a "Logical intelligent plant care system" in digital agriculture based on mivar approach. *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 2022. Vol. 954. P. 012004. DOI: 10.1088/1755-1315/954/1/012004. EDN: HODWVY

35. Chuvikov D.A., Aladin D.V., Adamova L.E. et al. A new method for creating mivar knowledge bases in tabular-matrix form for ground intelligent vehicle control systems. *Journal of Physics: Conference Series: International Conference on Actual Issues of Mechanical Engineering*. 2021. Vol. 2061. P. 012123. DOI: 10.1088/1742-6596/2061/1/012123. EDN: SLARYS

36. Aladin D.V., Varlamov O.O., Chuvikov D.A. et al. Control of vehicles and robots: creation of planning systems in the state space (MIPRA). *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering: International Conference of Young Scientists and Students "Topical Problems of Mechanical Engineering"*, 2020. Vol. 747. P. 012097. DOI: 10.1088/1757-899X/747/1/012097. EDN: OYOOVR

37. Tabish A., Sarfaraz Ah., Muhammad A. Artificial intelligence for antimicrobial resistance prediction: challenges and opportunities towards practical implementation. *Antibiotics (Basel)*. 2023. Vol. 12(3). P. 523. DOI: 10.3390/antibiotics12030523

38. Tang R., Luo R., Tang S. et al. Machine learning in predicting antimicrobial resistance: a systematic review and meta-analysis. *Int J Antimicrob Agents*. 2022. Vol. 60. No. 5–6. P. 106684. DOI: 10.1016/j.ijantimicag.2022.106684

39. Bilal H., Khan M.N., Khan S. et al. The role of artificial intelligence and machine learning in predicting and combating antimicrobial resistance. *Comput Struct Biotechnol J*. 2025. Vol. 27. Pp. 423–439. Available at: <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC11791014/> (accessed 01.03.2025)

40. De Vries S., Ten Doesschate T., Totté JEE et al. A semi-supervised decision support system to facilitate antibiotic stewardship for urinary tract infections. *Comput Biol Med*. 2022. Vol. 146. P. 105621. DOI: 10.1016/j.compbimed.2022.105621

41. Foroughi M., Arzehgar A., Seyedhasani S.N. et al. Application of machine learning for antibiotic resistance in water and wastewater: A systematic review. *Chemosphere*. 2024. DOI: 10.1016/j.chemosphere.2024.142223

**Финансирование.** Исследование проведено без спонсорской поддержки.

**Funding.** The study was performed without external funding.

**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.

### Информация об авторах

**Салахутдинова Нурия Чингизовна**, студент, Институт искусственного интеллекта Российского технологического университета МИРЭА;

119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, 78;

vnechkv@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3531-944X>

**Варламов Олег Олегович**, д-р техн. наук, профессор:

1) профессор базовой кафедры № 254 вычислительных комплексов, Институт искусственного интеллекта Российского технологического университета МИРЭА;

119454, Россия, Москва, пр-т Вернадского, 78;

2) профессор кафедры систем обработки информации и управления, Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана;

105005, Россия, Москва, ул. 2-я Бауманская, д. 5, корп. 1;

3) гл. науч. сотр., АО НИИ вычислительных комплексов имени М. А. Карцева;

117437, Россия, Москва, ул. Профсоюзная, 108;

ovar@narod.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6081-3076>, SPIN-код: 7983-9762

### **Information about the authors**

**Nuriya Ch. Salahutdinova**, Student of the Institute of Artificial Intelligence of the Russian Technological University MIREA;

119454, Russia, Moscow, 78 Vernadsky avenue;

vnechkv@mail.ru, ORCID: <https://orcid.org/0009-0000-3531-944X>

**Oleg O. Varlamov**, Doctor of Technical Sciences, Professor:

1) Professor at the Department of Computational Complexes, Institute of Artificial Intelligence of the Russian Technological University MIREA;

119454, Russia, Moscow, 78 Vernadsky avenue;

2) Professor at the Department of Information Processing Systems and Control, Moscow State Technical University named after N. E. Bauman;

105005, Russia, Moscow, corp. 1, building 5, 2nd Baumanskaya street;

3) Chief Researcher at JSC M. A. Kartsev Research Institute of Computing Systems;

117437, Russia, Moscow, 108 Profsoyuznaya street;

ovar@narod.ru, ORCID: <https://orcid.org/0000-0002-6081-3076>, SPIN-code: 7983-9762