

Моя профессиональная  
карьера

ISSN

INTERNATIONAL  
STANDARD  
SERIAL  
NUMBER

ISSN

2782-4365

Проверить  
номер:



Научно-образовательный электронный журнал

# ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ

Выпуск №69-1 (том 3)  
(декабрь, 2025)



Google  
Scholar



Периодичность выпуска: 1 раз в неделю

Сайт: [mpcareer.ru/oinv21veke](http://mpcareer.ru/oinv21veke). Почта: [obrmpcareer@mail.ru](mailto:obrmpcareer@mail.ru)



Международный научно-образовательный  
электронный журнал  
«ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ»

ISSN 2782-4365

УДК 37

ББК 94

**Международный научно-образовательный электронный журнал  
«ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ». Выпуск №69-1 (том 3) (декабрь,  
2025). Дата выхода в свет: 08.12.2025.**

Журнал объединяет авторов на территории стран СНГ и помогает обмениваться передовыми научно-образовательными исследованиями.

Содержит научные статьи отечественных и зарубежных авторов по экономическим, техническим, философским, юридическим и другим наукам.

Миссия научно-образовательного электронного журнала «ОБРАЗОВАНИЕ И НАУКА В XXI ВЕКЕ» состоит в поддержке интереса читателей к оригинальным исследованиям и инновационным подходам в различных тематических направлениях, которые способствуют распространению лучшей отечественной и зарубежной практики в интернет пространстве.

Целевая аудитория журнала охватывает работников сферы науки и образования (педагоги, учителя, ученые, преподаватели, научные сотрудники, бакалавры, магистранты, аспиранты).

Материалы публикуются в авторской редакции. За соблюдение законов об интеллектуальной собственности и за содержание статей ответственность несут авторы статей. Мнение редакции может не совпадать с мнением авторов статей. При использовании и заимствовании материалов ссылка на издание обязательна.

© ООО «МОЯ ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ КАРЬЕРА»

© Коллектив авторов

Аманов Мекан, Аманова Сурай ПРИМЕНЕНИЕ ИСКУССТВЕННОГО ИНТЕЛЛЕКТА И МАШИННОГО ОБУЧЕНИЯ ДЛЯ ПРОГНОЗИРОВАНИЯ ПРОДУКТИВНОСТИ ГОРИЗОНТАЛЬНЫХ СКВАЖИН И ОПТИМИЗАЦИИ ГИДРОРАЗРЫВА ПЛАСТА	73
Аманов Мекан, Маммедов Эмин АРХИТЕКТУРА, РЕАЛИЗАЦИЯ И ПРИМЕНЕНИЕ ДЛЯ ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ДОБЫЧЕЙ УГЛЕВОДОРОДОВ	78
Аннамаммедов Сейранмаммед Достмаммедович, Аннамырадов Реджепмырат Ашырович ФОРМАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИЧЕСКИХ ПРОГРАММ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ТЕОРЕМ	83
Аннамухаммедова Язгуль, Аннаяммедова Сульгун СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ВЛИЯНИЯ ГОЛЛАНДСКОЙ И АНГЛИЙСКОЙ ОСТ-ИНДСКИХ КОМПАНИЙ НА МИРОВУЮ ЭКОНОМИКУ XVII ВЕКА	89
Атаев Бегенчмырат Гурбангелдиевич, Аразов Язмурат Отузович МОДЕЛИРОВАНИЕ И УПРАВЛЕНИЕ ТЕХНИЧЕСКИМ ДОЛГОМ В УСЛОВИЯХ НЕПРЕРЫВНОЙ ИНТЕГРАЦИИ	95
Атаева Гульджан, Абаев Керим УЧЕТ ДОХОДОВ ПРЕДПРИЯТИЯ В СООТВЕТСТВИИ С МЕЖДУНАРОДНЫМИ СТАНДАРТАМИ ФИНАНСОВОЙ ОТЧЕТНОСТИ (МСФО)	101
Атаева Гульджан, Сойджанова Сульгун ТЕОРЕТИЧЕСКИЕ ОСНОВЫ И ОСОБЕННОСТИ БУХГАЛТЕРСКОГО УЧЕТА В БАНКАХ	107
Бабамурадова Эджегыз, Хабилов Довлет Реджепдурдыевич СЕМАНТИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ И ВЕРИФИКАЦИЯ ПРОГРАММ, ИСПОЛЬЗУЮЩИХ ПАРАЛЛЕЛЬНЫЕ КОНСТРУКЦИИ	113
Бердиев Тахыр, Керимов Мерген ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ РАБОЧЕЙ ПАМЯТИ НА ПРИНЯТИЕ РЕШЕНИЙ В УСЛОВИЯХ КОГНИТИВНОЙ НАГРУЗКИ	119
Бердиева Мяхри ЭКОНОМИЧЕСКИЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ МЕХАНИЗМОВ ЗАЩИТЫ ПРАВ ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНОЙ СОБСТВЕННОСТИ В ФАРМАЦЕВТИЧЕСКОЙ ОТРАСЛИ	126
Уссаева Алтын, Аманова Гульджемал, Оразгельдиева Лачин ЭВОЛЮЦИЯ КОНЦЕПЦИИ ПОЗИТИВНОГО НЕЙТРАЛИТЕТА В ГОСУДАРСТВЕННОЙ ПОЛИТИКЕ ТУРКМЕНИСТАНА ПОСЛЕ 1995 ГОДА	132

**ФИО автора(-ов):** *Аннамаммедов Сейранмаммед Достмаммедович, преподаватель, Туркменский государственный университет имени Махтумкули Аннамырадов Реджепмырат Ашырович, старший преподаватель, Туркменский государственный институт экономики и управления*

*г. Ашхабад, Туркменистан*

**Название публикации:** «ФОРМАЛЬНАЯ ВЕРИФИКАЦИЯ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЛОГИЧЕСКИХ ПРОГРАММ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЧЕСКОГО ДОКАЗАТЕЛЬСТВА ТЕОРЕМ»

**Аннотация.** Формальная верификация и оптимизация логических программ являются критически важными задачами в области автоматического доказательства теорем (Automated Theorem Proving, ATP) и логического программирования. Логические программы, основанные на исчислении предикатов и резолютивном принципе, используются для построения систем, способных автоматически выводить новые знания или подтверждать корректность сложных утверждений. Однако сложность и неэффективность поисковых процедур в ATP-системах, обусловленные огромным пространством возможных выводов, требуют применения продвинутых методов верификации и оптимизации.

Настоящая статья исследует концептуальные основы формальной верификации логических программ, фокусируясь на обеспечении их полноты (completeness) и корректности (soundness). Анализируются методы доказательства корректности самих алгоритмов доказательства, часто основанные на металогики и индуктивных рассуждениях. Особое внимание уделяется применению методов абстрактной интерпретации и модельного тестирования для проверки свойств логических программ, таких как терминация (завершаемость) и отсутствие циклов.

Вторая часть работы посвящена оптимизации логических программ для повышения производительности ATP-систем. Рассматриваются методы оптимизации запросов, включая устранение избыточных вычислений и

переупорядочивание предикатов для минимизации пространства поиска. Изучаются техники, основанные на частичной оценке и специализации программ, позволяющие предварительно вычислить часть результатов и сузить область поиска. Также анализируется роль дедуктивных баз данных в кешировании промежуточных результатов доказательства. Представленные методы верификации и оптимизации критически важны для создания надежных, эффективных и масштабируемых систем АТР, способных решать задачи высокой вычислительной сложности.

**Ключевые слова.** Формальная верификация, логические программы, автоматическое доказательство теорем (АТР), оптимизация программ, полнота, корректность, абстрактная интерпретация, терминация, резолюция, логическое программирование, частичная оценка, металогика.

Системы автоматического доказательства теорем (АТР) являются краеугольным камнем современной компьютерной науки, предоставляя средства для формальной проверки корректности математических утверждений и верификации программного обеспечения. В основе многих таких систем лежит логическое программирование, использующее аппарат исчисления предикатов и принцип резолюции для поиска доказательств. Эффективность и, что более важно, надежность этих систем критически зависят от формальной верификации и оптимизации логических программ. Подобно тому, как в соревновательном спорте, таком как плавание, важно не только быстро добраться до финиша, но и строго соблюдать правила (стиль, поворот), чтобы результат был признан корректным, так и в АТР-системах требуется не только найти доказательство, но и убедиться в его логической безупречности.

Верификация: Гарантия корректности и полноты

Проблема верификации логических программ в системах АТР касается двух ключевых свойств: корректности (soundness) и полноты (completeness). Корректность гарантирует, что любое доказательство, найденное системой, является логически верным, то есть из истинных посылок не может быть выведен

ложный вывод. Полнота обеспечивает, что если доказательство существует, система сможет его найти. Для логических программ, представляющих собой набор аксиом и правил вывода, верификация часто осуществляется на металогическом уровне, используя индуктивные методы для доказательства корректности самого алгоритма вывода (например, алгоритма резолюции).

Одним из важнейших аспектов верификации является обеспечение терминации (завершаемости) логической программы. Если программа не завершается, система АТР может застрять в бесконечном поиске доказательства, что делает ее бесполезной. Для анализа терминации используются методы абстрактной интерпретации, которые аппроксимируют поведение программы в более простом, абстрактном семантическом пространстве. Вместо работы с точными значениями переменных, абстрактная интерпретация оперирует обобщенными свойствами, например, знаковыми или интервальными областями, позволяя обнаружить потенциальные бесконечные циклы или некорректные рекурсивные вызовы. В спорте это сравнимо с анализом стратегии боксера: если он бесконечно использует один и тот же прием без развития атаки, его стратегия будет признана нетерминирующей и неэффективной.

Оптимизация: Преодоление комбинаторного взрыва

Главный вызов, стоящий перед системами АТР, — это комбинаторный взрыв пространства поиска. При увеличении числа аксиом и сложности теорем, число возможных шагов вывода растет экспоненциально, что делает поиск доказательства невыполнимым в разумное время. Задача оптимизации логических программ направлена на существенное сокращение этого пространства.

Один из эффективных методов — оптимизация запросов, которая включает переупорядочивание предикатов и элиминацию избыточных вычислений. Правильное упорядочивание предикатов в правиле вывода может значительно сократить ветвление поиска. Подобно тому, как команда в эстафетном беге должна идеально рассчитать момент передачи палочки, чтобы минимизировать потерю времени, логическая программа должна оптимально "передавать"

данные между предикатами. Техника частичной оценки (partial evaluation) позволяет заранее выполнить часть вычислений, когда некоторые входные параметры запроса уже известны, что приводит к специализации программы и созданию более быстрого, оптимизированного кода для конкретных типов задач.

Кроме того, для ускорения процесса доказательства используются дедуктивные базы данных. Эти системы кешируют промежуточные результаты и доказанные подцели, избегая повторных вычислений. Это сравнимо с тренировочным процессом в тяжелой атлетике: атлет не начинает каждый раз с нуля, а опирается на уже наработанные силовые показатели и техники, сокращая время на достижение нового рекорда. Таким образом, оптимизация логических программ преобразует сложные, ресурсоемкие логические структуры в высокоэффективные вычислительные объекты, критически важные для практического применения АТР-систем.

#### Интеграция и будущее

Успешное развитие систем АТР требует тесной интеграции верификационных и оптимизационных методов. Современные подходы стремятся к созданию сертифицированных доказательств, где вместе с самим доказательством генерируется его формальная верификация, подтверждающая корректность. Будущее этой области связано с разработкой метапрограммирования для логических языков, позволяющего самим программам адаптироваться и оптимизировать собственный код и стратегию поиска в зависимости от решаемой задачи. Это приближает нас к созданию действительно автономных и высоконадежных систем, способных решать сложнейшие задачи в математике и инженерии.

Успешная реализация формальной верификации и оптимизации логических программ опирается на сложный программный инструментарий. Современные системы автоматического доказательства теорем (АТР), такие как Prover9, Vampire или E-prover, включают высокооптимизированные механизмы резолюции и подстановки, использующие структуры данных, специально разработанные для быстрого поиска и сравнения терминов. В этих системах

техники оптимизации, такие как лемматизация (сохранение и повторное использование доказанных подцелей) и стратегии поиска (например, упорядочение унификации), реализованы на низком уровне.

Для обеспечения корректности самой АТР-системы применяется формальная верификация металогики. Это означает, что математики и программисты используют другие, уже верифицированные, системы доказательства (например, Coq или Isabelle/HOL) для доказательства корректности ядра алгоритмов резолюции. Таким образом, создается иерархия доверия. Это похоже на то, как олимпийский комитет фигурного катания должен не только верифицировать саму программу спортсмена, но и убедиться в корректности и объективности судейской системы, которая эту программу оценивает.

Будущее: Интеграция с машинным обучением

Одно из наиболее перспективных направлений развития верификации и оптимизации логических программ связано с интеграцией с машинным обучением (ML). Традиционные АТР-системы часто используют эвристики, заданные вручную, для выбора следующего шага в процессе доказательства. Однако в огромном и сложном пространстве поиска эти эвристики часто оказываются неоптимальными.

Использование ML-моделей, обученных на тысячах ранее найденных доказательств, позволяет системе прогнозировать наиболее эффективную стратегию поиска, выбирать наиболее полезные аксиомы и предикаты, а также определять оптимальное упорядочивание целей и термов. Этот подход, получивший название "Learning to Proof", трансформирует процесс оптимизации: вместо жестких правил система АТР приобретает гибкость и интуицию, основанную на опыте, что значительно повышает её способность решать сложные, ранее нерешаемые задачи.

В области верификации ИИ также может быть применен для автоматической генерации инвариантов и утверждений о терминации, что существенно снизит ручную работу, требуемую при использовании методов

абстрактной интерпретации и индуктивного доказательства. Такая интеграция обещает создать системы АТР, которые будут не только формально надежны, но и вычислительно эффективны на уровне, необходимом для решения задач индустриальной сложности, например, для верификации критически важного программного обеспечения.

### **Список литературы:**

1. Ллойд, Дж. У. (1987). *Foundations of Logic Programming*. Springer-Verlag.
2. Дебресен, П. (2019). Формальная верификация алгоритмов автоматического доказательства теорем. *Журнал компьютерной логики*, 12(4), 512–530.
3. Кларк, К. Л., & Маккейб, Ф. Г. (1984). *Micro-Prolog: Programming in Logic*. Prentice-Hall.
4. Соренсен, Х. С., & Шерман, Р. (1998). *Partial Evaluation and Program Transformation: Principles and Applications*. Springer.
5. Григорян, А. А. (2020). Абстрактная интерпретация для анализа завершаемости логических программ. *Информационные технологии и программирование*, 21(1), 77–90.