

ALGORITHM FOR THE APPROXIMATE SOLUTION OF OPTIMAL CONTROL ON AN INFINITE HORIZON

O.D. BELOVA, Magister, Yu.N. MATVEEV, Dr. Sc.

Tver State Technical University,
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: iamoksib@yandex.ru

The article addresses the problem of finding an approximate solution to the optimal control problem over an infinite horizon through the synthesis of an optimal feedback control law for dynamical systems. A sequential reduction scheme is proposed to transition from a continuous problem formulation to a finite-dimensional discrete model. The method of successive approximations is applied to solve the resulting system of dynamic programming equations.

Keywords: optimal control; feedback control synthesis; dynamic programming; Bellman equation; method of successive approximations; discretization.

Поступила в редакцию/received: 18.05.2026; после рецензирования/revised: 20.05.2026;
принята/accepted: 26.05.2026

УДК 004.942

DOI: 10.46573/2658-5030-2026-3-96-102

ПРИМЕНЕНИЕ РЕГРЕССИОННЫХ МОДЕЛЕЙ ДЛЯ ЧАСТИЧНОЙ АВТОМАТИЗАЦИИ ОЦЕНКИ ТРУДОЗАТРАТ В ИТ-ПРОЕКТАХ

Р.А. ЛУКЬЯНОВ, асп., К.А. КАРЕЛЬСКАЯ, канд. техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: rlukyanov12@yandex.ru

© Лукьянов Р.А., Карельская К.А., 2026

Статья посвящена исследованию потенциала применения регрессионных моделей в контексте итеративно-инкрементальной методологии управления ИТ-проектами. Раскрыты теоретические основы и методологические подходы, лежащие в основе данного направления, а также проанализирован практический опыт настройки и разработки регрессионных моделей. Рассмотрена их эффективность при оценке трудозатрат и планировании ресурсов в сфере информационных технологий.

Ключевые слова: регрессионная модель, масштабирования данных, машинное обучение, автоматизация, оценка метрик модели машинного обучения, гибкая методология, управление ИТ-проектами.

ВВЕДЕНИЕ

В современном мире активно развивается информатизация, в связи с чем расширяется промышленный сектор по реализации информационно-технологических продуктов и решений. Этот процесс сопровождается увеличением объема и сложности

ИТ-проектов, требующих высокой точности в оценке ресурсных затрат и эффективности выполнения работ. Одним из ключевых аспектов успешного управления ИТ-проектами является точная оценка трудозатрат, позволяющая эффективно планировать ресурсы, соблюдать сроки и контролировать бюджет. Согласно исследованиям [2], более 80 % государственных ИТ-проектов превышают установленные сроки, по сравнению с примерно 50 % в частном секторе [1]. В среднем ИТ-проекты во всех секторах занимают на 46 % больше времени, чем планировалось, при этом вероятность превышения сроков на 20 % больше в государственном секторе. Примерно 18 % государственных ИТ-проектов сталкиваются со значительными отклонениями, при этом отставание от графиков достигает 41 %, а перерасход средств составляет в среднем 130 %. Каждый последующий год, запланированный на проект, увеличивает риск перерасхода бюджета на 15 %. Следует отметить, что упомянутое исследование проводилось на большой выборке, в которой участвовало 5 400 ИТ-проектов [2].

Часто при управлении проектами используется итеративно-инкрементальная модель, важным этапом которой является планировка и оценка задач и спринтов. Для уменьшения количества издержек при выполнении проектов предлагается использовать регрессионную модель, позволяющую оценивать трудозатраты с учетом накопленного в компании опыта. Модель встраивается в существующие системы в виде программного компонента, который будет реализовывать программный интерфейс для взаимодействия с другими подсистемами, что позволяет гибко интегрировать функционал в уже имеющиеся решения без кардинального изменения других подсистем. Данный подход обеспечит возможность частичной автоматизации процесса планирования на каждой итерации при исполнении проекта, что также снизит издержки при планировании работ.

Цель исследования состоит в анализе итеративно-инкрементальной модели ведения ИТ-проектов и частичной автоматизации процессов оценки трудозатрат за счет применения регрессионной модели, позволяющей учитывать предыдущий опыт работы и формировать предварительные оценки ресурсов и сложности задач.

АНАЛИЗ РАБОТЫ ИТЕРАТИВНО-ИНКРЕМЕНТАЛЬНОЙ МОДЕЛИ

Согласно исследованиям Д.Д. Лобасева [3] и А.А. Антонова [4], итеративно-инкрементальная модель (рис. 1) ведения ИТ-проектов получила широкое распространение и популярность благодаря таким ее достоинствам, как возможность адаптации к изменяющимся требованиям, работа в коротких циклах, фокусировка на коммуникации и сотрудничестве, регулярное получение обратной связи. Ключевым ее этапом является оценка результатов и планирование новой итерации, исходя из чего определяется успешность выполнения поставленных задач.

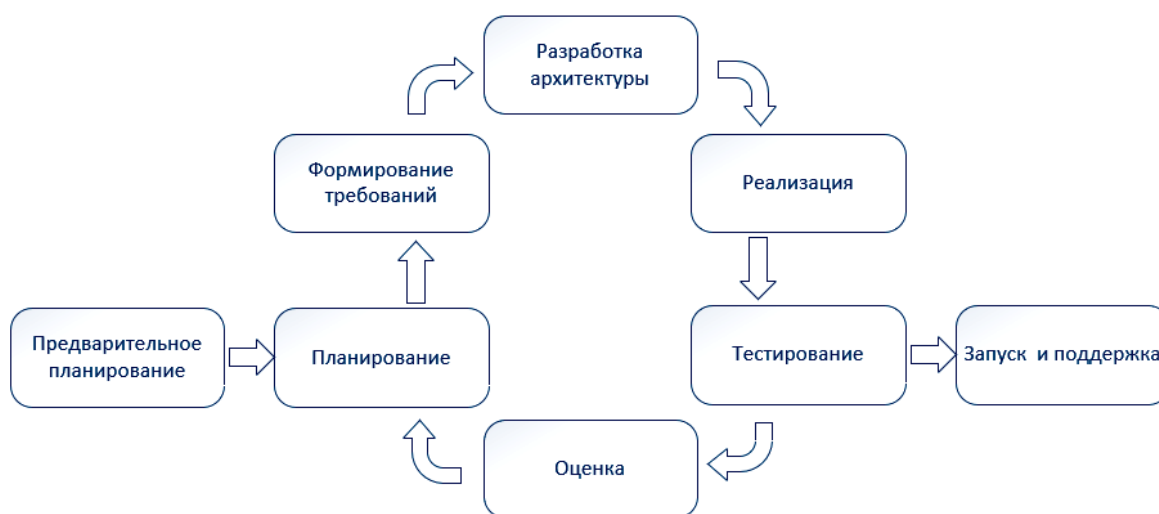


Рис. 1. Схематическое представление итеративно-инкрементальной модели

При использовании рассматриваемой модели процесс реализации проекта делится на отрезки (спринты), каждый из которых в свою очередь подразделяется на задачи. Эффективное выполнение задач влияет на эффективное выполнение спринта, а следовательно, и на выполнение ИТ-проекта. Тем не менее сектор сталкивается с проблемами недооценки или переоценки трудозатрат при планировании разработки.

Одним из путей решения данной проблемы является повышение точности оценки трудозатрат с учетом накопленного компанией опыта. Для этого предлагается осуществлять предварительную оценку трудозатрат, основанную на предыдущем опыте, с помощью методов искусственного интеллекта и машинного обучения. Основной для прогнозирования трудозатрат служит регрессионная модель. Для частичной автоматизации необходимо разработать программный компонент, который упростит разработку и внедрение регрессионной модели. Программный компонент на языке программирования Python разрабатывался с использованием библиотек NumPy, pandas, scikit-learn и Matplotlib.

ОСНОВНЫЕ ЭТАПЫ РАЗРАБОТКИ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ

Ключевыми этапами разработки программной модели являются:
 постановка задачи и сбор данных,
 анализ данных,
 выбор признаков,
 построение и обучение модели,
 оценка модели и ее валидация.

Для сбора данных, необходимых для обучения и отладки модели, были использованы открытые источники, одним из которых послужил TAWOS. Данные сформированы на опыте работы 14 компаний с помощью программного обеспечения Jira. В банке данных находится 143 700 записей, которые были разделены на тестовую и обучающую выборку в процентном отношении 70 к 30. Целевым признаком для регрессионной модели будет фактическое время, затраченное на выполнение задачи.

Распределение является многомодальным и имеет несколько пиков, которые демонстрирует централизацию усилий в определенных временных диапазонах (рис. 2). При анализе распределения трудозатрат было выявлено, что примерно 47,6 % задач были выполнены менее чем за 500 минут каждая.



Рис. 2. Распределение целевого признака

Были построены распределения не только целевого признака, но и входных параметров, так как исследование входных данных может занимать много времени и выводы напрямую повлияют на качество работы регрессионной модели. В зависимости от природы данных они были разделены на числовые, бинарные, категориальные и текстовые. Каждая из этих категорий требует особого подхода при обработке и анализе.

Затем осуществлялась подготовка входных параметров для корректной обработки регрессионной модели. Этапы предобработки данных представлены на рис. 3.



Рис. 3. Ключевые этапы процесса предобработки данных

После удаления дубликатов данные были проанализированы на пропущенные значения. С помощью анализа распределений данных и зависимостей между ними произвели обработку выбросов и масштабирование данных. Категориальные данные были закодированы. После этого выполнялось масштабирование текстовых данных с помощью метода TDIF (Term Frequency-Inverse Document Frequency). Данный метод

представляет собой популярный способ векторизации текстовых данных, который позволяет оценить важность слова в документе относительно всего корпуса.

Написанный для успешного процесса обучения регрессионной модели алгоритм позволяет определять наиболее эффективную регрессионную модель при минимизации ошибки нахождения целевого признака.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Для работы программного компонента на вход подается несколько моделей, которые предполагается использовать в дальнейшем, а также соответствующий набор гиперпараметров, требующих дальнейшей настройки. Алгоритм выбирает и возвращает наилучшую модель в зависимости от выбранной метрики оценки качества. В таблице представлены те регрессионные модели, которые оказались предпочтительными, а также передаваемые гиперпараметры для их оптимизации.

Результаты настройки гиперпараметров и оценка регрессионных моделей

Название модели	Гиперпараметры	Средняя абсолютная ошибка (минут)
Градиентный спуск	Темп обучения, количество деревьев, максимальная глубина, минимальное число для разбиения, минимальное число в листе, доля выборки, функция потерь	2 281,37
Линейная регрессия	Учитывать свободный член, копировать данные, количество потоков	2 821,37
Метод случайного дерева	Количество деревьев, максимальная глубина, минимальное число для разбиения, минимальное число в листе, максимальное число признаков, количество потоков	2 921,32

Основными показателями для оценки качества регрессионных моделей являются следующие метрики: средняя абсолютная ошибка, средняя квадратичная ошибка и коэффициент детерминации. Данные показатели позволяют оценить погрешность результатов в предсказании модели и выявить области для дальнейшего повышения точности прогноза. Средняя абсолютная ошибка показывает среднюю величину отклонений предсказанных значений от фактических, позволяет оценить степень ошибок, допущенных моделью, и сравнить точность предсказаний разных моделей. Средняя квадратичная ошибка помогает выявить систематические погрешности в работе модели. Коэффициент детерминации отражает долю вариации целевой переменной, описывает объяснительную способность модели.

Качество лучшей модели выбиралось по расчету средней квадратичной ошибки. Завершающим этапом разработки регрессионной модели является ее тестирование. В ходе тестирования были обработаны 43 000 записей о задачах и рассчитаны показатели качества модели.

На основе проведенного тестирования модели градиентного спуска были получены следующие показатели: средняя абсолютная ошибка составила 2 281,17, средняя квадратичная ошибка – 2 731,18, а коэффициент детерминации (R^2) 0,064. Полученное значение коэффициента детерминации ($R^2 = 0,064$) указывает на слабую совместимость

модели с исходными данными, т.е. модель объясняет всего около 6,4 % вариативности целевой переменной. Это свидетельствует о необходимости переобучения или использования дополнительных признаков для повышения ее объяснительной мощности.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

В ходе проведенного нами исследования было подтверждено, что применение регрессионных моделей для оценки трудозатрат в рамках итеративно-инкрементальной методологии управления ИТ-проектами обладает значительным потенциалом для повышения эффективности планирования и автоматизации процессов оценки ресурсов. На основании анализа различных моделей можно сделать вывод о том, что регрессия градиентного спуска демонстрирует лучшие показатели по метрике средней абсолютной ошибки, несмотря на относительно низкий коэффициент детерминации (R^2). В связи с этим необходимо проводить доработку модели и расширять набор входных данных.

Результаты тестирования на большой выборке данных подтверждают применимость регрессионных подходов для предсказания трудозатрат, что позволяет снизить издержки, связанные с планированием, и повысить точность предварительных оценок. Внедрение таких моделей в существующие системы управления проектами в виде программных компонентов способствует автоматизации оценки ресурсов и более обоснованному распределению задач, а значит, повышению общей эффективности работы команд.

В будущем предполагается расширить модель, учитывая дополнительные факторы, улучшить качество данных и оптимизировать параметры алгоритмов. Это позволит увеличить точность прогнозов, что, в свою очередь, приведет к более точной и своевременной оценке трудозатрат и повышению управляемости ИТ-проектами в условиях высокой динамичности и сложности современных технологий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Tawosi V., Al-Subaihin A., Moussa R., Sarro F. A versatile dataset of agile open source software projects. *Proceedings of the 19th International Conference on Mining Software Repositories*. 2022. С. 707–711.
2. Крючкова Д.А. Проблемы оценки трудозатрат при реализации ИТ-проектов. взаимосвязь между оценкой трудоемкости работ в ИТ-проектах по методу story points и реальными трудозатратами // *Парадигма*. 2025. № 4-3. С. 143–151.
3. Лобасев Д.В. Agile-подход к разработке программных продуктов: истоки и перспективы // *Инновации и инвестиции*. 2022. № 11. С. 210–214.
4. Антонов А.А. Тенденции использования Agile-методологий в современной России // *Экономика и парадигма нового времени*. 2023. № 3 (20). С. 18–23.
5. Решетова Д.Г., Максимов Ю.В. Сложность многоклассового классификатора один-против-всех // *Труды Московского физико-технического института*. 2015. Т. 7. № 4 (28). С. 59–65.
6. Селиверстов Я.А., Комиссаров А.А., Лесоводская А.А., Бовыкин П.Г., Подтихов А.В., Торсионов С.С., Цирков Д.А., Орлов С.А. Разработка и исследование моделей многоклассовых классификаторов для рекомендательной системы подготовки заявок на портале единой информационной системы в сфере закупок // *Информатика, телекоммуникации и управление*. 2022. Т. 15. № 2. С. 43–62.
7. Флах П. Машинное обучение. Наука и искусство построения алгоритмов, которые извлекают знания из данных / пер. с англ. А.А. Слинкина. М.: ДМК Пресс, 2015. 400 с.

Для цитирования: Лукьянов Р.А., Карельская К.А. Применение регрессионных моделей для частичной автоматизации оценки трудозатрат в ИТ-проектах // Вестник Тверского государственного технического университета. Серия «Технические науки». 2026. № 3 (31). С. 96–102.

APPLICATION OF REGRESSION MODELS FOR PARTIAL AUTOMATION OF WORKLOAD ESTIMATION IN IT PROJECTS

R.A. LUKYANOV, Postgraduate, K.A. KARELSKAYA, Cand. Sc.

Tver State Technical University,
22, Af. Nikitin emb., Tver, 170026, e-mail: rlukyanov12@yandex.ru

The article is devoted to the study of the potential of using regression models in the context of iterative-incremental methodology of IT project management. The first section of the paper reveals the theoretical foundations and methodological approaches underlying this area. The second part focuses on practical experience, as well as practical experience in setting up and developing regression models. as well as analyzing their effectiveness in assessing labor costs and resource planning, which contributes to improving the accuracy and effectiveness of management decisions in the field of information technology. Their effectiveness in assessing labor costs and resource planning in the field of information technology is considered.

Keywords: regression model, data scaling, machine learning, automation, evaluation of machine learning metrics, flexible methodology, AGILE, IT project management.

Поступила в редакцию/received: 15.04.2026; после рецензирования/revised: 22.04.2026;
принята/accepted: 24.04.2026

УДК 519.854.2

DOI: 10.46573/2658-5030-2026-3-102-110

ПЛАНИРОВАНИЕ И ОПТИМИЗАЦИЯ ЛИНЕЙНОГО РАСКРОЯ МЕТАЛЛОПРОКАТА МЕТОДАМИ ЦЕЛОЧИСЛЕННОГО ПРОГРАММИРОВАНИЯ

А.В. ИВАНОВ, асп., Ю.Н. МАТВЕЕВ, д-р техн. наук

Тверской государственный технический университет,
170026, Тверь, наб. Аф. Никитина, 22, e-mail: lexuzieel@gmail.com

© Иванов А.В., Матвеев Ю.Н., 2026

В статье рассмотрена задача оптимального линейного раскроя металлопроката при производстве железобетонных изделий. Обоснована актуальность снижения производственных отходов в строительной отрасли. Описана трехэтапная методика, объединяющая формирование планов раскроя, применение методов целочисленного линейного программирования и процедуру выбора оптимального решения на основе нескольких решений. Приведена математическая постановка задачи целочисленного