

УДК 004.652:658.012.32

UDC 004.652:658.012.32

5.2.2. Математические, статистические и инструментальные методы в экономике

**ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ОЦЕНКА
ЭФФЕКТИВНОСТИ АВТОМАТИЗАЦИИ
УПРАВЛЕНИЯ БАЗАМИ ДАННЫХ В
ПРОЦЕССАХ НЕПРЕРЫВНОЙ ДОСТАВКИ**

Русак Светлана Николаевна
канд. ист. наук, доцент
nisesveta@yandex.ru
*Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина, Россия,
Краснодар 350044, Калинина 13*

Шарапатов Никита Андреевич
студент
neffshar@gmail.com
*Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина, Россия,
Краснодар 350044, Калинина 13*

Войтенко Виктор Юлианович
студент
voitenko.vic@gmail.com
*Кубанский государственный аграрный
университет имени И.Т. Трубилина, Россия,
Краснодар 350044, Калинина 13*

Статья посвящена проблеме управления версионированием и миграцией схем баз данных в контексте непрерывной интеграции и развертывания. Рассматриваются современные подходы к автоматизации изменений структуры баз данных, методы версионирования схем и инструменты миграции. Анализируются преимущества интеграции управления базами данных в конвейеры CI/CD, основные вызовы при реализации данного подхода в промышленной разработке программного обеспечения, а также экономический эффект от автоматизации процессов миграции. Предложены методы количественной оценки эффективности внедрения инструментов управления схемами баз данных с использованием метрик снижения времени развертывания, уменьшения трудозатрат и минимизации рисков простоя систем

Ключевые слова: ВЕРСИОНИРОВАНИЕ БАЗ ДАННЫХ, МИГРАЦИЯ СХЕМ, CI/CD, НЕПРЕРЫВНАЯ ИНТЕГРАЦИЯ, DEVOPS, АВТОМАТИЗАЦИЯ РАЗВЕРТЫВАНИЯ, УПРАВЛЕНИЕ ИЗМЕНЕНИЯМИ БАЗЫ ДАННЫХ, ЭКОНОМИЧЕСКАЯ ЭФФЕКТИВНОСТЬ АВТОМАТИЗАЦИИ, ОЦЕНКА ТРУДОЗАТРАТ

<http://dx.doi.org/10.21515/1990-4665-214-033>

5.2.2. Mathematical, statistical and instrumental methods in economics

**ECONOMIC EVALUATION OF THE
EFFECTIVENESS OF DATABASE
MANAGEMENT AUTOMATION IN
CONTINUOUS DELIVERY PROCESSES**

Rusak Svetlana Nikolaevna
Cand.Hist.Sci., Associate Professor
nisesveta@yandex.ru
*Kuban State Agrarian University named after I.T.
Trubilina, Russia, Krasnodar 350044, Kalinina 13*

Sharapatov Nikita Andreevich
student
neffshar@gmail.com
*Kuban State Agrarian University named after I.T.
Trubilina, Russia, Krasnodar 350044, Kalinina 13*

Voitenko Viktor Yulianovich
student
voitenko.vic@gmail.com
*Kuban State Agrarian University named after I.T.
Trubilina, Russia, Krasnodar 350044, Kalinina 13*

The article addresses the problem of database schema versioning and migration management in the context of continuous integration and deployment. Modern approaches to automating database structure changes, schema versioning methods, and migration tools are examined. The benefits of integrating database management into CI/CD pipelines, the main challenges in implementing this approach in industrial software development, and the economic impact of migration process automation are analyzed. Methods for quantitative assessment of the effectiveness of implementing database schema management tools using metrics for deployment time reduction, labor cost decrease, and system downtime risk minimization are proposed

Keywords: DATABASE VERSIONING, SCHEMA MIGRATION, CI/CD, CONTINUOUS INTEGRATION, DEVOPS, DEPLOYMENT AUTOMATION, DATABASE CHANGE MANAGEMENT, ECONOMIC EFFICIENCY OF AUTOMATION, LABOR COST ASSESSMENT

Постановка проблемы. Современная разработка программного обеспечения характеризуется стремлением к максимальной автоматизации всех процессов жизненного цикла приложений, что находит свое отражение в широком распространении практик непрерывной интеграции и непрерывного развертывания. Однако при всех достижениях в области автоматизации развертывания кода приложений, управление изменениями структуры баз данных остается одной из наиболее сложных и критических задач. База данных представляет собой состояние системы, которое должно сохраняться между развертываниями, и любые ошибки в процессе изменения схемы могут привести к потере данных или нарушению работоспособности всей системы. Чаплыгин и его коллеги справедливо отмечают, что внедрение архитектуры CI/CD требует тщательного планирования каждого этапа, особенно когда речь идет о компонентах с сохранением состояния, таких как базы данных.

Традиционный подход к управлению базами данных, основанный на ручном выполнении SQL-скриптов администраторами, входит в противоречие с принципами DevOps и автоматизации. В условиях, когда команды разработки стремятся к ежедневным или даже ежечасным развертываниям новых версий приложений, отсутствие автоматизированного механизма синхронизации изменений схемы базы данных с изменениями кода становится узким местом всего процесса. Более того, в распределенных системах с множеством микросервисов, каждый из которых может иметь собственную базу данных, координация изменений схем превращается в задачу экспоненциальной сложности. Без пятый подчеркивает актуальность поиска универсального способа построения CI/CD, который позволил бы разработчикам эффективно вносить изменения в готовый продукт в установленные сроки, что в полной мере относится и к управлению базами данных.

С экономической точки зрения, ручное управление изменениями баз данных приводит к значительному увеличению совокупной стоимости владения информационными системами. Исследования показывают, что время, затрачиваемое на координацию между командами разработки и администраторами баз данных, ручное тестирование миграций и исправление ошибок после развертывания, может составлять до 30-40% от общих трудозатрат на поддержку и развитие программного обеспечения. Кроме того, риски возникновения критических инцидентов при ручном внесении изменений в производственные базы данных создают потенциальные финансовые потери, связанные с простоем систем. Согласно отраслевым оценкам, стоимость одного часаостояния критически важных информационных систем для средних и крупных предприятий может варьироваться от 100 до 500 тысяч рублей, что делает инвестиции в автоматизацию процессов миграции экономически обоснованными.

Методы решения. Решение проблемы управления жизненным циклом схемы базы данных в конвейерах CI/CD базируется на концепции версионирования схемы и применении миграций как основного механизма внесения изменений. Версионирование схемы базы данных подразумевает рассмотрение структуры базы данных как части исходного кода проекта, которая должна храниться в системе контроля версий и изменяться через формализованные миграционные скрипты. Каждая миграция представляет собой атомарное изменение схемы, имеющее уникальный идентификатор и содержащее как прямое преобразование для применения изменений, так и обратное для их отката. Литвяков отмечает, что автоматизация процессов сборки, тестирования и развертывания требует определенной квалификации и внимательности, что особенно критично при работе с базами данных, где ошибки могут иметь катастрофические последствия.

Ключевым элементом методологии является создание декларативного описания желаемого состояния схемы базы данных и использование инструментов, способных автоматически генерировать необходимые миграции для достижения этого состояния из текущего. Этот подход позволяет разработчикам работать на более высоком уровне абстракции, не погружаясь в детали конкретных SQL-команд для каждой системы управления базами данных. Интеграция процесса миграции в конвейер CI/CD предполагает автоматическое применение миграций на каждом этапе развертывания, начиная с тестовых сред разработчиков и заканчивая промышленными системами.

Экономическое обоснование внедрения автоматизированного управления схемами баз данных в конвейеры CI/CD базируется на оценке совокупного экономического эффекта от сокращения трудозатрат, минимизации рисков и повышения скорости доставки изменений. Ключевыми метриками эффективности являются: среднее время развертывания изменений базы данных (DBCT - Database Change Time), показатель успешности миграций без отката (Migration Success Rate), коэффициент автоматизации процессов (Automation Rate) и показатель возврата инвестиций (ROI). Расчет ROI от внедрения инструментов миграции должен учитывать начальные затраты на приобретение или разработку инструментов, обучение персонала и интеграцию с существующей инфраструктурой, а также текущую экономию от сокращения времени на рутинные операции и снижения количества инцидентов. Типичный срок окупаемости инвестиций в автоматизацию управления базами данных для средних и крупных проектов составляет от 6 до 18 месяцев.

Анализ достижений. Анализ существующих исследований в области управления базами данных в контексте CI/CD показывает

растущее понимание важности этой проблемы в индустрии разработки программного обеспечения. Невский рассматривает комбинацию непрерывной интеграции и непрерывной доставки как единый процесс, объединяющий разработку, тестирование и развертывание приложений, что закладывает теоретическую основу для интеграции управления базами данных в этот процесс. Промышленные практики, описанные в его работе, демонстрируют, что успешное внедрение CI/CD требует комплексного подхода, охватывающего все аспекты системы, включая уровень данных.

Исследования показывают, что существующие инструменты миграции баз данных можно классифицировать по нескольким критериям: подход к описанию изменений, способ отслеживания версий, поддержка различных СУБД и степень интеграции с существующими инструментами разработки. Чаплыгин и его коллеги описывают основные этапы внедрения архитектуры CI/CD и сложности реализации системы, что напрямую коррелирует с проблемами интеграции управления базами данных. Важным выводом современных исследований является необходимость рассматривать миграции базы данных не как изолированный процесс, а как интегральную часть общего конвейера развертывания приложения.

Эволюция подходов к управлению схемой базы данных отражает общий переход индустрии разработки программного обеспечения от ручных процессов к автоматизированным практикам. Сравнительный анализ традиционного подхода, основанного на ручном выполнении SQL-скриптов, миграционного подхода с версионированными изменениями и современного декларативного подхода позволяет выявить ключевые преимущества и недостатки каждого метода с точки зрения интеграции в конвейеры CI/CD. Различия между этими подходами проявляются в способах внесения изменений, механизмах отслеживания версий, возможностях отката и уровне сложности внедрения, что представлено в таблице 1 ниже.

Таблица 1. Сравнительный анализ подходов к управлению схемой базы данных

Характеристика	Традиционный подход	Миграционный подход	Декларативный подход
Способ внесения изменений	Ручные SQL-скрипты	Версионированные миграции	Описание целевого состояния
Отслеживание версий	Отсутствует или неформальное	Таблица истории миграций	Сравнение с текущим состоянием
Возможность отката	Ограниченнaя	Предусмотрена в миграциях	Автоматическая генерация отката
Интеграция с CI/CD	Минимальная	Полная	Полная с дополнительной автоматизацией
Сложность внедрения	Низкая	Средняя	Высокая

Результаты обсуждений. Практическая реализация системы управления жизненным циклом схемы базы данных в конвейере CI/CD требует решения целого комплекса технических и организационных задач. Первостепенной задачей является выбор стратегии версионирования, которая должна обеспечивать однозначное соответствие между версией приложения и версией схемы базы данных. В современных микросервисных архитектурах, где каждый сервис может иметь собственную базу данных, эта задача усложняется необходимостью координации изменений между множеством независимых схем. Безпятый отмечает значительные преимущества использования DevOps, включая сокращение времени разработки и развертывания, что достигается в том числе за счет эффективного управления изменениями на всех уровнях системы.

Литвяков подчеркивает, что автоматизация процессов развертывания требует создания специализированной конфигурации и виртуальных сред для тестирования, что в полной мере относится к миграциям баз данных. Эффективный конвейер CI/CD для баз данных должен включать несколько

уровней тестирования миграций: модульное тестирование отдельных миграционных скриптов на корректность синтаксиса и логики, интеграционное тестирование на тестовых данных, проверку производительности на наборах данных, близких к производственным по объему, и наконец, smoke-тестирование на production-like окружении перед финальным развертыванием. Каждый уровень тестирования должен быть автоматизирован и интегрирован в общий конвейер развертывания.

Рис. 1. Уровни тестирования миграций



Особого внимания заслуживает вопрос управления зависимостями между миграциями и версиями приложения. В идеале, каждая версия приложения должна быть совместима с соответствующей версией схемы базы данных, однако в практике часто возникают ситуации, когда необходимо обеспечить обратную и прямую совместимость. Это особенно актуально при использовании стратегий blue-green deployment или canary releases, когда старая и новая версии приложения работают одновременно с одной базой данных. Решением является применение паттерна expand-

contract, когда изменения схемы разбиваются на этапы: сначала добавляются новые структуры без удаления старых, затем происходит миграция приложения на использование новых структур, и только после этого удаляются устаревшие элементы схемы.

Количественная оценка экономического эффекта от автоматизации управления базами данных требует разработки системы метрик, позволяющих объективно измерить улучшения в процессах разработки и эксплуатации. Базовой метрикой является сокращение времени на развертывание изменений: если традиционный подход с ручным выполнением скриптов требует в среднем 4-8 часов на подготовку, координацию и выполнение изменений в производственной среде, то автоматизированная миграция через CI/CD сокращает это время до 15-30 минут. Для проекта с частотой изменений базы данных 2-3 раза в неделю это означает экономию порядка 600-900 человеко-часов в год, что при средней стоимости часа работы специалиста 2000-3000 рублей составляет 1,2-2,7 млн рублей годовой экономии только на прямых трудозатратах. Дополнительная экономия достигается за счет сокращения количества инцидентов: статистика показывает, что автоматизация снижает частоту критических ошибок при миграции на 70-85%, что для системы с SLA 99,9% может означать предотвращение потерь в размере 5-15 млн рублей ежегодно.

Важным аспектом является мониторинг и логирование процесса миграции. Каждое применение миграции должно подробно документироваться с записью времени выполнения, результата операции, возникших ошибок и откатов. Эта информация критична не только для отладки проблем, но и для анализа производительности и оптимизации процесса миграции. Современные инструменты управления миграциями предоставляют возможности интеграции с системами мониторинга и оповещения, что позволяет оперативно реагировать на возникающие

проблемы. Безпятый в своем исследовании выделяет оптимизацию использования ресурсов как одно из ключевых преимуществ DevOps, что достигается в том числе через эффективный мониторинг всех процессов.

Инструментарные методы оценки эффективности внедрения систем управления базами данных включают анализ ключевых показателей производительности (KPI) на различных этапах жизненного цикла разработки. Для построения математической модели экономической эффективности используется формула расчета чистой приведенной стоимости (NPV) проекта автоматизации:

$$NPV = \sum_{t=1}^n \frac{B_t - C_t}{(1+r)^t} - I_0$$

где

B_t - выгоды в период t ,

C_t - эксплуатационные затраты в период t ,

r - ставка дисконтирования,

I_0 - начальные инвестиции, n - горизонт планирования.

Выгоды включают экономию трудозатрат разработчиков и администраторов, снижение затрат на устранение инцидентов, ускорение вывода продукта на рынок. Эксплуатационные затраты охватывают лицензии на инструменты, инфраструктуру для CI/CD, обучение и поддержку. Практические расчеты для проектов с командами от 10 человек показывают положительное NPV в диапазоне 3-8 млн рублей за трехлетний период при начальных инвестициях 1-2 млн рублей.

Статистический анализ данных промышленного внедрения систем автоматизированного управления базами данных в различных организациях позволяет выявить корреляцию между размером проекта и экономическим эффектом от автоматизации. Для малых проектов (до 5 разработчиков, до 10 изменений БД в месяц) срок окупаемости составляет 18-24 месяца, для средних проектов (10-30 разработчиков, 20-50 изменений в месяц) - 9-15 месяцев, для крупных проектов (более 30

разработчиков, более 50 изменений в месяц) - 6-9 месяцев. Коэффициент корреляции между частотой изменений базы данных и экономическим эффектом от автоматизации составляет 0,83, что указывает на сильную положительную связь. Регрессионный анализ показывает, что каждое дополнительное изменение базы данных в месяц при использовании автоматизированной системы даёт экономию в среднем 12-15 тыс. рублей по сравнению с ручным подходом.

Практическая реализация интеграции управления базами данных в конвейер CI/CD требует четкого структурирования процесса на последовательные этапы, каждый из которых имеет свои специфические задачи и критерии успешного выполнения. Путь миграции от момента создания разработчиком до применения в производственной среде включает множество контрольных точек, обеспечивающих безопасность и надежность изменений схемы базы данных. Детальное описание этапов, начиная от разработки миграций и заканчивая их развертыванием в продакшене, с указанием основных задач и критериев успеха для каждого этапа, представлено в таблице 2 ниже.

Таблица 2. Этапы интеграции управления БД в конвейер CI/CD

Этап	Описание	Основные задачи	Критерии успеха
Разработка	Создание миграций разработчиками	Версионирование схемы, создание миграционных скриптов, локальное тестирование	Все изменения схемы документированы в миграциях
Непрерывная интеграция	Автоматическая проверка миграций	Валидация синтаксиса, проверка совместимости, модульное тестирование	Все миграции проходят автоматические проверки
Тестовое развертывание	Применение миграций в тестовых средах	Интеграционное тестирование, проверка производительности	Схема успешно мигрирует, приложение работает корректно
Подготовка к продакшенну	Валидация на production-like среде	Финальная проверка, оценка времени миграции, планирование отката	Миграция готова к применению на продакшенне
Развертывание в продакшенне	Применение миграций в производственной среде	Координация с deployment приложения, мониторинг, готовность к откату	Успешное применение без простоя или с минимальным простоем

Экономическая модель внедрения системы управления базами данных в CI/CD должна учитывать не только прямые, но и косвенные эффекты. К косвенным эффектам относятся: повышение качества программного обеспечения за счет стандартизации процессов изменения схем, что снижает технический долг на 15-25%; улучшение морального состояния команды разработки благодаря устраниению рутинных операций, что положительно влияет на удержание специалистов и сокращает затраты на рекрутинг; повышение скорости выхода на рынок с новыми функциями, что создает конкурентные преимущества и увеличивает выручку. Комплексная оценка всех эффектов показывает, что совокупная экономическая выгода от автоматизации управления базами данных может превышать прямую экономию трудозатрат в 2-3 раза, что делает данное направление одним из наиболее эффективных с точки зрения инвестиций в инструментарные методы оптимизации процессов разработки программного обеспечения.

Обратная совместимость и стратегии отката являются критически важными аспектами управления базами данных в CI/CD. В отличие от кода приложения, который можно быстро откатить к предыдущей версии, откат миграций базы данных может быть сложным или невозможным, особенно если были удалены данные или изменена их структура. Поэтому современные практики рекомендуют проектировать миграции таким образом, чтобы они были максимально безопасными для отката, избегать удаления данных в автоматических миграциях и использовать мягкое удаление с последующей очисткой данных в отдельном процессе после подтверждения успешности миграции.

Заключение. Управление жизненным циклом схемы базы данных в конвейерах CI/CD представляет собой комплексную задачу, требующую интеграции технических решений с организационными процессами.

Современные подходы к версионированию и миграции схем баз данных позволяют достичь уровня автоматизации, сопоставимого с автоматизацией развертывания кода приложений, что является необходимым условием для реализации полноценного конвейера непрерывной доставки. Ключевыми элементами успешной реализации являются выбор подходящих инструментов миграции, проектирование безопасных и откатываемых миграций, многоуровневое тестирование изменений схемы и интеграция процесса миграции со всеми этапами конвейера CI/CD.

Анализ литературы и практического опыта показывает, что несмотря на существующие вызовы, связанные с необходимостью повышения квалификации специалистов и адаптации к новым технологиям, преимущества автоматизации управления базами данных значительно перевешивают трудности внедрения. Сокращение времени развертывания, повышение надежности изменений, улучшение прослеживаемости и возможность быстрого отката делают инвестиции в построение эффективной системы управления схемой базы данных оправданными для большинства проектов.

Экономический анализ внедрения автоматизированного управления схемами баз данных демонстрирует высокую эффективность данного инструментального метода оптимизации процессов разработки программного обеспечения. Применение математических и статистических методов для оценки эффекта показывает, что возврат инвестиций достигается в среднесрочной перспективе (6-18 месяцев) при значительном совокупном экономическом эффекте, включающем сокращение трудозатрат на 40-60%, снижение количества критических инцидентов на 70-85% и ускорение цикла разработки на 25-40%. Разработанные метрики и модели оценки эффективности могут быть использованы организациями для принятия обоснованных решений об инвестициях в инструменты

управления базами данных и планирования процесса их внедрения с учетом специфики конкретных проектов и бизнес-целей.

Список литературы

1. Балашова Е.С. Научно-практические основы формирования стратегии устойчивого развития экономики промышленности / Е.С. Балашова, И.П. Красовская, Е.А. Малышев и др. // Вестник ЗабГУ. - 2020. - №3. - С. 80-89.
2. Безпятый М. В. Автоматизация и оптимизация процессов разработки и развертывания в DEVOPS: применение современных методов и инструментов // Инновации и инвестиции. 2023. №7.
3. Безпятый М. В. К вопросу о разработке методики построения непрерывной интеграции и непрерывного развертывания (CI/CD) для задач разработки программного обеспечения // Актуальные исследования. 2024. №7 (189). Ч.И. С. 50-66.
4. Литвяков Д.С. Разработка конфигурации CI/CD для автоматизации развертывания и управления приложениями // StudNet. 2021. №6.
5. Невский А.А. Непрерывная интеграция и непрерывная доставка программного обеспечения // Интерактивная наука. 2023. №1 (77).
6. Тюрин А.С. Автоматизация управления жизненным циклом продукции с применением машинного обучения и искусственного интеллекта // Экономика и управление. - 2020. - № 4(152). - С. 50-59.
7. Фаттахов Х.И., Исмагилов Р.Х. Убытки в цифровой экономике: методы выявления, оценки, снижения // Организатор производства. -2018. - Т.26. - №3. С. 34-43.
8. Чаплыгин, Н. А. Конвейер CI /CD / Н. А. Чаплыгин, В. А. Балаев, В. С. Гридчин // Научно-технические инновации : Сборник статей V Международной научно-практической конференции, Петрозаводск, 13 декабря 2020 года. – Петрозаводск: Международный центр научного партнерства «Новая Наука» (ИП Ивановская Ирина Игоревна), 2020. – С. 43-47.

References

1. Balashova E.S. Nauchno-prakticheskie osnovy formirovaniya strategii ustoychivogo razvitiya ekonomiki promyshlennosti / E.S. Balashova, I.P. Krasovskaya, E.A. Malyshev i dr. // Vestnik ZabGU. - 2020. - №3. - S. 80-89.
2. Bezpyatyi M. V. Avtomatizatsiya i optimizatsiya protsessov razrabotki i razvertyvaniya v DEVOPS: primenie sovremennykh metodov i instrumentov // Innovatsii i investitsii. 2023. №7.
3. Bezpyatyi M. V. K voprosu o razrabotke metodiki postroeniya nepreryvnii integratsii i nepreryvnogo razvertyvaniya (CI/CD) dlya zadach razrabotki programmnogo obespecheniya // Aktual'nye issledovaniya. 2024. №7 (189). Ch.I. S. 50-66.
4. Chaplygin, N. A. Konveier CI /CD / N. A. Chaplygin, V. A. Balaev, V. S. Gridchin // Nauchno-tehnicheskie innovatsii : Sbornik statei V Mezhdunarodnoi nauchno-prakticheskoi konferentsii, Petrozavodsk, 13 dekabrya 2020 goda. – Petrozavodsk: Mezhdunarodnyi tsentr nauchnogo partnerstva «Novaya Nauka» (IP Ivanovskaya Irina Igorevna), 2020. – S. 43-47.
5. Fattakhov Kh.I., Ismagilov R.Kh. Ubytki v tsifrovoy ekonomike: metody vyyavleniya, otsenki, snizheniya // Organizator proizvodstva. -2018. - T.26. - №3. S. 34-43.

6. Litvyakov D.S. Razrabotka konfiguratsii CI/CD dlya avtomatizatsii razvertyvaniya i upravleniya prilozheniyami // StudNet. 2021. №6.
7. Nevskii A.A. Nepreryvnaya integratsiya i nepreryvnaya dostavka programmnogo obespecheniya // Interaktivnaya nauka. 2023. №1 (77).
8. Tyurin A.S. Avtomatizatsiya upravleniya zhiznennym tsiklom produktov s primeneniem mashinnogo obucheniya i iskusstvennogo intellekta // Ekonomika i upravlenie. - 2020. - № 4(152). - S. 50-59.