

10. Jasodanand VH et al. *AI-driven fusion of multimodal data for Alzheimer's disease* (Nature Communications, 2025). (Multimodal ML predicting PET status). [Nature](#)
11. Hasan Saif F. *Explainable AI for Alzheimer Detection: A Review* (MDPI Applied Sciences, 2024). (XAI methods and limitations). [MDPI](#)
12. Alzheimer's Disease Neuroimaging Initiative (ADNI). *ADNI data resource*.

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ПРОИЗВОДСТВЕННЫЕ СИСТЕМЫ И ЦИФРОВЫЕ ДВОЙНИКИ

С.С.Насриддинов

д.т.н., профессор

А.Мавлянов

к.ф.-м.н., доцент, филиал Астраханского государственного технического университета в Ташкентской области Республики Узбекистан

Аннотация: В статье рассматриваются концепции интеллектуальных производственных систем (ИПС) и цифровых двойников (ЦД) как ключевых драйверов парадигмы индустрии 4.0. Анализируется их роль в повышении эффективности, гибкости и устойчивости промышленных процессов. Особое внимание уделяется интеграции этих технологий для создания самооптимизирующихся производственных сред, способных к прогнозированию сбоев, моделированию «что-если» сценариев и принятию автономных решений.

Ключевые слова: интеллектуальные производственные системы, цифровой двойник, индустрия 4.0, производственные технологии, искусственный интеллект, оптимизация производства.

INTELLIGENT MANUFACTURING SYSTEMS AND DIGITAL TWINS

S.S.Nasriddinov

Doctor of Technical Sciences, Professor

A. Mavlyanov

Candidate of Physical and Mathematical Sciences, Associate Professor, Branch of Astrakhan State Technical University in Tashkent Region, Republic of Uzbekistan

Annotation: This article examines the concepts of Intelligent Manufacturing Systems (IMS) and Digital Twins (DT) as key drivers of the Industry 4.0 paradigm. Their role in enhancing the efficiency, flexibility, and sustainability of industrial processes is analyzed. Special attention is given to the integration of these technologies to create self-optimizing production environments capable of predicting failures, modeling "what-if" scenarios, and making autonomous decisions.

Keywords: intelligent manufacturing systems (IMS), digital twin (DT), industry 4.0, production technologies, artificial intelligence (AI), manufacturing optimization.

INTELLEKTUALISHLAB CHIQRISH TIZIMLARI VA RAQAMLI EGIZAKLAR

S.S. Nasriddinov

t.t.d., professor

A. Mavlyanov

f.-m.n., dotsent, Astraxan davlat texnik universiteti filiali, Toshkent viloyati, O'zbekiston Respublikasi

Annotatsiya: Maqolada intellektual ishlab chiqarish tizimlari (IIT) va raqamli egizaklar (RE) tushunchalari sanoat 4.0 paradigmasining asosiy harakatlantiruvchi kuchlari sifatida ko'rib chiqiladi. Ularning sanoat jarayonlari samaradorligini, moslashuvchanligini va barqarorligini oshirishdagi roli tahlil qilinadi. E'tibor, nosozliklarni bashorat qilish, "agar shunday bo'lsa" ssenariylarini modellashtirish va avtonom qarorlar qabul qilishga qodir bo'lgan o'z-o'zini optimallashtiruvchi ishlab chiqarish muhitlarini yaratish uchun ushbu texnologiyalarni integratsiyalashga qaratilgan.

Kalit so'zlar: intellektual ishlab chiqarish tizimlari, raqamli egizak, sanoat 4.0, ishlab chiqarish texnologiyalari, sun'iy intellekt, ishlab chiqarishni optimallashtirish.

Введение. **Интеллектуальная производственная система (ИПС)** - это высокоавтоматизированная, сетевая и гибкая система, которая использует современные информационные технологии для сбора, анализа данных и принятия автономных решений в реальном времени.

Ключевые характеристики ИПС: Сетевая интеграция: все компоненты (станки, роботы, сенсоры, склады) соединены в единую сеть. Сетевая интеграция - это процесс объединения различных, ранее разрозненных, компонентов (устройств, систем, программных приложений, баз данных) в единую, централизованно управляемую и взаимодействующую сеть или систему.

Основные смысловые контексты. Сетевая интеграция является фундаментальным понятием в информационных технологиях, имеющим несколько ключевых интерпретаций: в контексте информационных технологий (ИТ). Определение: создание единой ИТ-инфраструктуры, где разные типы коммуникационного оборудования (маршрутизаторы, коммутаторы, серверы), сетевые протоколы и операционные системы работают совместно и обмениваются данными без проблем. Цель: обеспечить надёжную, безопасную и высокоскоростную передачу информации между всеми узлами организации.

В контексте производства (индустрия 4.0). Промышленная сетевая интеграция: объединение физического мира производства с цифровым. Горизонтальная интеграция: сетевое объединение всех этапов производственной цепочки создания стоимости - от поставщиков до конечных потребителей. Вертикальная интеграция: интеграция всех уровней управления внутри одного предприятия - от датчиков и исполнительных механизмов (цеховой уровень) до систем планирования ресурсов предприятия (ERP) и принятия стратегических решений (уровень управления). Цель: создание интеллектуальных производственных систем (ИПС), способных к самооптимизации и автономному принятию решений в реальном времени. В контексте программного обеспечения (системная интеграция) [3]. Определение: обеспечение совместной работы различных программных приложений и баз данных (например, CRM, ERP, MES) через общие интерфейсы (API) и протоколы. Цель: исключить дублирование данных и создать единое информационное пространство для эффективного управления бизнесом.

Значение для бизнеса. Сетевая интеграция позволяет компаниям: повысить эффективность: устранение «информационных барьеров» и автоматизация сквозных процессов. Улучшить гибкость: быстрое реагирование на изменения рынка и настройка производственных линий. Усилить контроль: получение полной картины о работе всех систем в реальном времени. Снизить издержки: оптимизация ресурсов за счёт централизованного управления.

Самоорганизация и адаптивность: система способна самостоятельно адаптироваться к изменениям в спросе, поломкам оборудования или сбоям в цепочке поставок. Самоорганизация и адаптивность - это два тесно связанных фундаментальных свойства, присущих сложным системам (биологическим, социальным, техническим, включая интеллектуальные производственные системы). Они позволяют системе эффективно функционировать, выживать и развиваться в постоянно меняющейся среде.

Самоорганизация - это процесс, в ходе которого структура, узор или функция возникают в системе без вмешательства внешнего агента или центрального управляющего органа. Суть: система спонтанно переходит от хаотического или менее структурированного состояния к более упорядоченному состоянию. Механизм: основан на локальном взаимодействии между отдельными, относительно простыми элементами системы. Правила взаимодействия элементов просты, но их коллективное поведение приводит к сложным, эмерджентным (внезапно возникающим) глобальным свойствам. Пример: в ИПС самоорганизация позволяет отдельным станкам или роботам автономно договариваться о распределении производственных задач в случае поломки одного из них, без явной команды от центрального диспетчера.

Адаптивность - это способность системы изменять свое поведение, структуру или внутренние процессы в ответ на изменение внешней или внутренней среды, чтобы сохранить эффективность, достичь поставленной цели или обеспечить свое выживание. Суть: способность учиться на основе опыта и корректировать свое функционирование. Механизм: системы используют обратную связь, сенсорные данные и внутренние модели для мониторинга текущей ситуации и сравнения ее с желаемым состоянием. На основе этого сравнения происходит изменение параметров или стратегии. Пример: в ИПС адаптивность проявляется в том, что система автоматически снижает скорость конвейера при обнаружении аномальных вибраций в ключевом узле или переключается на резервного поставщика материалов при задержке основного.

Взаимосвязь в производстве. В контексте индустрии 4.0, самоорганизация и адаптивность имеют решающее значение: самоорганизация создает гибкую основу (сети модулей и автономных агентов). Адаптивность обеспечивает динамичность и устойчивость этой основы, позволяя ей эффективно реагировать на непредсказуемые события (сбои, изменение спроса, дефицит ресурсов). Эти свойства трансформируют традиционные жесткие производственные линии в киберфизические системы, способные к самовосстановлению и самооптимизации.

Интеллект: использует искусственный интеллект (ИИ) и машинное обучение для прогнозирования, диагностики и оптимизации процессов [4]. Модульность: состоит из легко заменяемых и перенастраиваемых модулей, что обеспечивает высокую гибкость. Цель ИПС – переход от массового производства к высококастомизированному (персонализированному) производству при сохранении низкой стоимости.

Цифровые двойники. Цифровой двойник (ЦД) - это виртуальная копия физического объекта, процесса или системы, которая создается на основе данных, собираемых в реальном времени, и позволяет моделировать, анализировать и оптимизировать его работу [1]. Три составляющие ЦД:

1. Физический объект: реальное оборудование, линия, цех или даже целое предприятие. Физический объект служит источником реальных данных и является конечной точкой, где применяются результаты анализа и оптимизации, полученные из его цифрового двойника.

Как источник данных. Физический объект оснащается различными сенсорами и датчиками (температуры, давления, вибрации, скорости, положения и т.д.), которые постоянно собирают информацию о его состоянии и работе. Пример: в производственном цеху физический объект - это станок с ЧПУ, конвейерная лента или промышленный робот. Датчики на станке собирают данные о его текущей мощности, износе инструмента и температуре подшипников. Как исполнитель команд. Объект также включает исполнительные механизмы (актуаторы), которые могут принимать команды, поступающие извне (в том числе от системы управления, работающей на основе анализа ЦД), и изменять свое физическое состояние или поведение. Пример: если виртуальная модель (ЦД) предсказывает перегрев, она отправляет команду на физический объект (станок) о снижении скорости вращения или активации дополнительного охлаждения.

Диапазон физических объектов. Термин «физический объект» в контексте ЦД может относиться к сущностям разного масштаба: Компонент: отдельный датчик, клапан или подшипник. Продукт: готовый продукт или его прототип (например, автомобиль, самолет). Система: сложная машина или установка (например, турбина, реактор). Процесс/Место: Целая производственная линия, склад или даже город (Smart City). Таким образом, физический объект – это основа, «тело» киберфизической системы, которое непрерывно взаимодействует со своей виртуальной проекцией, обеспечивая актуальность и практическую ценность цифрового двойника.

2. Виртуальная модель: точное математическое и компьютерное представление физического объекта (3D-модель, алгоритмы поведения). Виртуальная модель – это не просто статичная 3D-графика. Это динамическая система, объединяющая различные виды данных и симуляций: геометрическая модель: точное 3D-представление физической формы и конструкции объекта. Физические модели (симуляции): набор математических уравнений и алгоритмов, которые имитируют поведение объекта в реальном мире, включая: механика: напряжения, вибрации, износ. Термодинамика: распределение тепла, охлаждение. Гидро и аэродинамика: потоки жидкостей и газов. [6] Модели поведения и правил: алгоритмы, описывающие логику работы объекта, последовательность операций, а также ограничения и допуски. Исторические и текущие данные: архивные данные о работе объекта и потоки данных, поступающие в реальном времени от его физического «двойника».

Роль в цифровом двойнике. Виртуальная модель выполняет аналитические и прогностические функции, которые невозможно реализовать только на физическом объекте: Анализ причинно-следственных связей: изучение, как изменение одного параметра (например, температуры) влияет на другой (например, скорость износа). Прогнозирование будущего состояния: на основе исторических данных и текущих показаний модель может предсказать, в каком состоянии объект будет через час, день или месяц, и когда вероятно произойдет сбой (ключ к прогнозируемому обслуживанию). Оптимизация и тестирование: модель позволяет тестировать различные сценарии (увеличение нагрузки, использование новых материалов, изменение рабочего цикла) без риска для реального оборудования.

Таким образом, если физический объект – это тело, а связь данных – это нервная система, то виртуальная модель – это мозг цифрового двойника.

3. Связь данных: постоянный, двунаправленный поток данных, который синхронизирует виртуальную модель с текущим состоянием физического объекта. Связь данных выполняет две ключевые функции:

Передача данных «От физики к цифре» (мониторинг). Сбор: сенсоры, установленные на физическом объекте (станке, турбине и т.д.), собирают оперативные данные (температура, вибрация, потребляемая мощность). Передача: эти данные (часто в больших объемах – Big Data) передаются через промышленный Интернет вещей (IIoT) и облачные платформы в виртуальную модель в реальном времени или с минимальной задержкой. Синхронизация: полученные данные используются для синхронизации виртуальной модели, гарантируя, что она всегда отражает текущее, актуальное состояние своего физического аналога.

Передача данных «От цифры к физике» (управление). Анализ и решение: виртуальная модель (её алгоритмы и ИИ) анализирует данные, прогнозирует проблемы или находит оптимальные настройки. Команда: на основе анализа генерируются управляющие сигналы или команды (например, «снизить скорость», «открыть клапан», «запланировать обслуживание»). Исполнение: эти команды передаются обратно на физический объект через исполнительные механизмы (актуаторы) для автоматической корректировки его работы.

Технологии, обеспечивающие связь данных. Для реализации надежной и быстрой связи данных необходим набор технологий: Промышленный интернет вещей: сеть датчиков и устройств, обеспечивающая сбор данных. Высокоскоростные сети (5G/6G): необходимы для обеспечения низкой задержки (Low Latency) при передаче критически важных управляющих команд. Облачные и туманные вычисления: используются для хранения, обработки и быстрого анализа огромных объемов данных. Протоколы обмена (MQTT, OPC UA): стандарты, гарантирующие надежный и структурированный обмен информацией между разнородными системами.

Основные функции ЦД.

Прогнозное обслуживание: моделирование износа позволяет предсказать, когда произойдет отказ компонента, и запланировать его замену заранее. Прогнозное обслуживание (Predictive Maintenance, PdM) - это стратегия технического обслуживания, которая использует методы анализа данных и прогнозного моделирования для определения фактического состояния оборудования и точного предсказания того, когда может произойти отказ компонента или сбой в работе. В отличие от традиционного планово-предупредительного обслуживания (которое выполняется по графику) или реактивного обслуживания (после поломки), PdM позволяет проводить ремонт или замену деталей строго по необходимости, незадолго до ожидаемого сбоя.

Принципы и механизмы. Прогнозное обслуживание является одним из ключевых применений ЦД и индустрии 4.0. 1. Сбор данных. Основой PdM является непрерывный сбор данных с физического объекта с помощью промышленного интернета вещей (IIoT). Анализируются такие параметры, как: вибрация: изменения в паттернах вибрации часто указывают на износ подшипников или разбалансировку. Температура: перегрев или необычные температурные градиенты. Акустические сигналы: необычные шумы. Потребление энергии: скачки или падения потребляемой мощности. Рабочее время/Циклы: фактическая наработка оборудования.

Прогнозное моделирование. Собранные данные подаются в виртуальную модель (ЦД), где анализируются с помощью: машинного обучения (ML) и ИИ: алгоритмы обучаются на исторических данных о сбоях и нормальной работе, выявляя аномальные паттерны. Физико-математических моделей: моделирование усталости материалов, износа и других процессов деградации.

Принятие решений. На основе анализа система предсказывает оставшийся срок полезного использования (Remaining Useful Life, RUL) компонента. Если риск отказа превышает заданный порог, система автоматически генерирует рабочий наряд или отправляет команду на ИПС для планирования обслуживания в ближайшее удобное «окно» простоя. Преимущества прогнозного обслуживания (таблица 1):

Преимущество	Описание
Снижение простоев	Исключение внезапных, катастрофических поломок, так как обслуживание планируется заранее.
Оптимизация ресурсов	Снижение затрат на обслуживание, поскольку детали

	заменяются только тогда, когда это необходимо, а не по фиксированному графику.
Увеличение срока службы	Обеспечение наилучших условий эксплуатации и предотвращение вторичных повреждений, вызванных отказом одного элемента.
Повышение безопасности	Своевременное выявление критических неисправностей, которые могут привести к авариям.

Анализ «что-если»: позволяет безопасно тестировать новые производственные настройки, режимы работы или обновления программного обеспечения в виртуальной среде.

Анализ «что-если» (What-If Analysis) - это метод моделирования и исследования, который позволяет оценить потенциальные результаты или последствия при изменении одного или нескольких входных параметров, условий или переменных в системе. В контексте ЦД и ИПС, анализ «что-если» является одним из наиболее мощных инструментов для оптимизации, планирования и управления рисками.

Механизм и применение в ЦД. ЦД идеально подходит для проведения анализа «что-если», поскольку он позволяет проводить эксперименты в виртуальной среде без каких-либо рисков и затрат для реального физического объекта. Как это работает: создание сценария: оператор или система определяет гипотетическое изменение (например, «Что произойдет, если мы увеличим скорость конвейера на 20%?»). Моделирование: виртуальная модель (ЦД) обрабатывает этот сценарий, используя свои математические, физические и поведенческие алгоритмы. Оценка последствий: ЦД прогнозирует, как измененный параметр повлияет на другие показатели, такие как: производительность: насколько увеличится выпуск продукции. Износ оборудования: насколько быстрее изнашиваются ключевые компоненты. Энергопотребление: как изменятся эксплуатационные расходы. Качество продукции: увеличится ли процент брака [5].

Ключевые области применения: оптимизация производственных параметров [2]: тестирование новых режимов работы оборудования (температура, давление, скорость) для поиска идеальной точки эффективности. Планирование модернизации: оценка эффективности внедрения нового робота или программного обеспечения до того, как они будут куплены и установлены. Управление сбоями (кризисное планирование): моделирование последствий поломки критически важного станка или задержки поставки сырья для разработки эффективного плана действий. Оценка цепочки поставок: анализ влияния изменения графика поставок или объема заказов на складские запасы и производственные сроки. Главное преимущество анализа «что-если» состоит в том, что он дает прогнозный взгляд на систему, позволяя принимать обоснованные и упреждающие решения, а не реагировать на уже произошедшие события.

Оптимизация в реальном времени: ЦД используется ИПС для мгновенной корректировки параметров работы (например, скорости конвейера или температуры) для максимальной эффективности. Оптимизация в реальном времени (Real-Time Optimization, RTO) - это процесс непрерывного и автоматического вычисления и применения наилучших рабочих параметров (уставок) для физической системы (например, производственной линии или технологической установки) на основе постоянно поступающих данных, чтобы достичь заранее определенной цели (максимизации прибыли, минимизации энергопотребления, повышения качества).

Механизм в киберфизических системах. В контексте ИПС и ЦД, оптимизация в реальном времени работает следующим образом: непрерывный ввод данных: датчики на Физическом Объекте через IoT постоянно передают данные о текущем состоянии, внешних условиях и качестве продукции (входные параметры). Моделирование и анализ (ЦД): виртуальная модель (ЦД) мгновенно обрабатывает новые данные, сравнивая текущую производительность с идеальной, заложенной в модели. Используются сложные математические модели и ИИ для решения оптимизационных задач: нахождения такой комбинации рабочих параметров, которая даст наилучший результат в текущих условиях. Автоматическая корректировка: оптимальные значения (новые уставки) мгновенно передаются обратно на физический объект, где исполнительные механизмы (актуаторы) автоматически изменяют режимы работы (например, скорость насоса, температуру реактора или скорость конвейера) [7].

Цели RTO. Ключевая особенность RTO - это его способность реагировать на динамические изменения (например, изменение качества сырья, колебания цен на энергию или износ оборудования) с минимальной задержкой. Основные цели включают: максимизация пропускной

способности: производство максимально возможного объема продукции. Снижение операционных расходов: минимизация потребления энергии и сырья. Обеспечение качества: поддержание параметров процесса в узких пределах для стабильного качества продукта.

Таким образом, RTO обеспечивает, что система всегда работает на пике эффективности в каждый конкретный момент времени.

Синергия ИПС и цифровых двойников. Цифровые двойники являются «мозгом» и «центром моделирования» интеллектуальной производственной системы (таблица 2).

Аспект	Роль ИПС	Роль цифрового двойника
Сбор данных	Предоставляет физические сенсоры, которые собирают данные.	Принимает данные и использует их для синхронизации виртуальной модели.
Анализ	Использует ИИ и аналитику для оперативного контроля.	Проводит глубокое моделирование, прогнозирование и анализ сценариев.
Принятие решений	Выполняет команды (изменяет параметры, запускает роботов).	Формирует и рекомендует оптимальные стратегии и команды для ИПС.
Оптимизация	Обеспечивает физическую гибкость для перенастройки.	Определяет идеальные параметры и конфигурацию для максимальной эффективности.

Благодаря этой синергии, производство становится проактивным, а не реактивным, что резко снижает простой и расходы, а также сокращает время вывода новой продукции на рынок.

Заключение. Проведенный анализ подтверждает, что ИПС и ЦД являются не просто отдельными технологическими трендами, а взаимодополняющими элементами новой парадигмы промышленного производства – Индустрии 4.0. Синергия ИПС, обеспечивающей физическую гибкость и сетевую интеграцию, и ЦД, выступающего в роли центра моделирования и прогнозирования, позволяет производственным предприятиям достигнуть принципиально нового уровня эффективности и устойчивости.

Сквозная интеграция: связь данных в реальном времени между физическим объектом и виртуальной моделью обеспечивает беспрецедентную прозрачность и возможность оптимизации в реальном времени, преобразуя реактивное управление в проактивное. Управление рисками: использование ЦД для прогнозного обслуживания и анализа "что-если" минимизирует риски внезапных сбоев, что критически важно для сокращения дорогостоящих простоев и повышения безопасности. Гибкость и адаптивность: способность ИПС к самоорганизации и адаптивности, подкрепленная аналитическими возможностями ЦД, позволяет производству мгновенно реагировать на рыночные изменения и сбои в цепочках поставок. Внедрение этих технологий напрямую ведет к сокращению времени вывода продукции на рынок, снижению эксплуатационных издержек и повышению конкурентоспособности.

Направления дальнейших исследований. Несмотря на очевидные преимущества, практическое внедрение ИПС и ЦД требует дальнейшего изучения и решения ряда вопросов, включая: разработка универсальных стандартов и протоколов для бесшовной интеграции разнородных промышленных данных. Повышение уровня кибербезопасности киберфизических систем и защиты критической промышленной информации. Создание методологий для оценки экономического эффекта от внедрения ЦД для сложных, крупномасштабных производственных систем. Таким образом, дальнейшее развитие ИПС и ЦД будет направлено на создание полностью автономных, самовосстанавливающихся и самооптимизирующихся промышленных экосистем будущего.

Список литературы

1. Иванов, П.А. Цифровой двойник в промышленности 4.0. -М: Инфра-М, -2023. -320 с.
2. Интеллектуальные производственные системы / А.В.Петров [и др.]. Санкт-Петербург: Политехника, -2022. -450 с.
3. Сидоров, В.Н. Вертикальная интеграция в рамках концепции Digital Twin // Промышленность и экономика. -2024. -Т. 15, -№ 3. -С. 45-58.

4. Козлов, О.Л. Применение машинного обучения для оптимизации ИПС // Цифровизация производства: вызовы и решения: материалы II Всероссийской научно-практической конференции. -Москва, -2023. -С. 112-119.
5. Смирнов, С.А. Цифровые двойники в машиностроении. -Москва : Инфра-М, -2024. -415 с.
6. Фёдоров, А. И. Виртуальное моделирование как основа киберфизических систем // Промышленная инженерия. -2023. -Т. 12, -№ 4. -С. 60-72.
7. Ковалев, Д.С. Разработка математических моделей для виртуального двойника // Актуальные вопросы цифровизации производства: материалы V Всероссийской научно-практической конференции. -Санкт-Петербург, -2022. -С. 88-95.

МОНИТОРИНГ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ВЫСОКОНАГРУЖЕННЫХ СИСТЕМ НА ОСНОВЕ МИКРОСЕРВИСНОЙ АРХИТЕКТУРЫ

¹Халиляев Л.С., ¹Нодиржонов Р.Н., ²Медведева О.А.

¹Студент кафедры точных наук и информационных технологий

Филиал КФУ в г. Джизак, Республика Узбекистан

²К.ф.-м.н., доцент кафедры информационных систем

Казанский федеральный университет, г. Казань, Россия

OAMedvedeva@kpfu.ru

Аннотация: В рамках данного исследования осуществлена разработка микросервисного приложения с использованием двух различных подходов: традиционного и реактивного программирования с применением фреймворка Spring. Проведены нагрузочные тесты, которые позволяют оценить, какой из подходов лучше соответствует требованиям разработки высоконагруженных систем.

Ключевые слова: микросервисы, нагрузка, Spring, Java, мониторинг высоконагруженных систем.

PERFORMANCE MONITORING OF MICROSERVICE-BASED SYSTEMS

¹Khalilyaev L.S., ¹Nodirjonov R.N., ²Medvedeva O.A.

¹Student, Department of Exact Sciences and Information Technology

Branch of KFU, Jizzakh, Uzbekistan

²PhD Associate Professor Department of Information Systems KFU, Kazan, Russia

OAMedvedeva@kpfu.ru

Abstract: Within the framework of this study, a microservice application was developed using two different approaches: traditional and reactive programming using the Spring framework. Load tests have been conducted to assess which approach best meets the requirements of high-load systems.

Keywords: microservices, performance, Spring, Java, high-load systems monitoring.

Проблема обеспечения высокой производительности веб-приложений остается одной из наиболее важных в современной ИТ-индустрии. Особое внимание этот вопрос приобретает в контексте высоконагруженных систем, где одновременно обрабатываются запросы тысяч или даже миллионов пользователей. Постоянный рост интернет-аудитории и переход ключевых сервисов – от банкинга и электронной коммерции до дистанционного образования – в цифровую среду предъявляют исключительные требования к отказоустойчивости, скорости отклика и стабильности работы программного обеспечения.

В данной статье рассмотрим комплексное исследование производительности веб-приложения, разработанного на языке Java с использованием фреймворка Spring. Выбор этого технологического стека не случаен: Java, благодаря своей кроссплатформенности и мощной экосистеме, является одним из лидеров в создании корпоративных и высоконагруженных приложений. Фреймворк Spring, в свою очередь, стал де-факто отраслевым стандартом для построения сложных, масштабируемых и легко тестируемых систем на Java, предлагая богатейший набор инструментов для всех уровней приложения – от управления зависимостями и транзакциями до безопасности и взаимодействия с базами данных.