

Как и ожидалось, последние выражения являются наиболее компактными из перечисленных. Подставляя в них соотношения Виета, записанные с учетом кратного корня ( $a_1 = -4z_1 - z_5 - z_6$ ;  $a_2 = 6z_1^2 + 4z_1z_5 + 4z_1z_6 + z_5z_6$ ;  $a_3 = -4z_1^3 - 6z_1^2z_5 - 6z_1^2z_6 - 4z_1z_5z_6$ ;  $a_4 = z_1^4 + 4z_1^3z_5 + 4z_1^3z_6 + 6z_1^2z_5z_6$ ;  $a_5 = -z_1^4z_5 - z_1^4z_6 - 4z_1^3z_5z_6$ ;  $a_6 = z_1^4z_5z_6$ ), с помощью математического пакета убеждаемся, что все они после упрощения превращаются в  $z_1$ .

**Исследование выполнено при финансовой поддержке Белорусского республиканского фонда фундаментальных исследований (договор № Ф25М-063).**

**Заключение.** Таким образом, с помощью системы компьютерной математики Maple в терминах коэффициентов полинома комплексного аргумента шестой степени получены все возможные семейства точных рациональных формул для вычисления корня кратности 4.

1. Чернявский, М. М. Модификация формул Эйткена и алгоритмы аналитического нахождения кратных корней полиномов / М. М. Чернявский, Ю. В. Трубников // Веснік Віцебскага дзяржаўнага ўніверсітэта. – 2021. – № 1. – С. 13–25. – URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/26638> (дата обращения: 05.11.2025).

2. Лебедев, А. В. Дифференцирование результатов и общие кратные корни полиномов / А. В. Лебедев, Ю. В. Трубников, М. М. Чернявский // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2024. – Т. 68, № 4. – С. 282–287. – URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/44242> (дата обращения: 05.11.2025).

3. Чернявский, М. М. Рациональные выражения для кратных корней полиномов / М. М. Чернявский // Докл. Нац. акад. наук Беларуси. – 2025. – Т. 69, № 2. – С. 95–100. – URL: <https://rep.vsu.by/handle/123456789/48077> (дата обращения: 05.11.2025).

## РАЗРАБОТКА БЭКЕНД-КОМПОНЕНТА ДЛЯ СИСТЕМЫ УЧЕТА ЛАБОРАТОРНОГО ОБОРУДОВАНИЯ С МОДУЛЕМ УВЕДОМЛЕНИЙ

*Яворский Н.С.,*

*студент 4 курса ВГУ имени П.М. Машерова, г. Витебск, Республика Беларусь*

*Научный руководитель – Сипаков И.Е., преподаватель*

Ключевые слова. Автоматизированная система учёта, бэкенд-архитектура, уведомления, REST API, интеграция с приложением.

Keywords. Inventory management, backend architecture, notifications, REST API, application integration.

Централизованный бэкенд и детализированные API необходимы для того, чтобы приложение в реальном времени отражало статус оборудования, позволяло выполнять действия техников и получало предсказуемые уведомления о предстоящем обслуживании. Корректное проектирование влияет на консистентность данных, масштабируемость системы и предсказуемую доставку сообщений во все требуемые каналы, включая нативные push-уведомления приложения [1].

Цель работы – разработать бэкенд-компонент, ориентированный на интеграцию с приложением, который централизует учёт оборудования и историю технического обслуживания (ТО), реализует правила планирования и триггерной генерации событий, гарантирует надёжную доставку уведомлений в приложение и внешние системы и предоставляет удобный и безопасный REST/GraphQL API и SDK для быстрой интеграции клиентского приложения.

**Материал и методы.** Проект основан на принципах микросервисной и событийно-ориентированной архитектуры с явно описанными контрактами для мобильного и веб-клиента. Для сервисной логики рассматриваются Spring Boot или Node.js, для хранения справочников и временных рядов — PostgreSQL. Брокер сообщений (RabbitMQ или Redis Streams) используется для обмена событиями и асинхронных задач. Для расписаний применён job-шейдулер (Quartz или cron-подобный сервис). Модуль уведомлений проектируется по адаптерному шаблону, что обеспечивает подключение нативного push, email, SMS и webhooks через единый интерфейс доставки. Контракты описаны в формате OpenAPI, предусмотрена поддержка WebSocket/SSE для двунаправленной синхронизации с приложением.

**Результаты и их обсуждение.** В процессе проектирования была сформирована детализированная архитектурная модель, которая разделяет функциональные компоненты системы на несколько взаимосвязанных сервисов. Каждый из них отвечает за определённый участок бизнес-логики:

- управление справочниками оборудования;
- планирование и контроль обслуживания;
- ведение истории операций, формирование уведомлений и обеспечение авторизации пользователей.

Такое разделение повышает гибкость и масштабируемость системы, упрощает дальнейшее развитие и адаптацию под изменяющиеся требования приложения.

Особое внимание уделено механизму интеграции с пользовательским приложением. Реализованы процессы хранения и актуализации push-токенов, что позволяет системе корректно доставлять уведомления на устройства пользователей независимо от их платформы. В архитектуре предусмотрены механизмы подтверждения доставки сообщений и их дедупликации, что исключает повторную отправку одинаковых уведомлений и повышает стабильность пользовательского опыта. Контракты API описаны в открытом формате, что обеспечивает прозрачное взаимодействие приложения с серверной частью и упрощает интеграцию с другими модулями экосистемы.

Модуль уведомлений спроектирован как универсальный компонент, поддерживающий различные каналы связи — от push-сообщений и электронной почты до SMS и webhook-интерфейсов. Для обеспечения надёжности применяются механизмы повторной попытки доставки с экспоненциальной задержкой, что снижает вероятность потери сообщений при временных сбоях внешних провайдеров. Обработка массовых рассылок реализована пакетно, с учётом лимитов на частоту отправки, что позволяет сохранять стабильность работы приложения даже при большом объёме уведомлений.

В проект также заложена поддержка офлайн-режима приложения. Для этого предусмотрены идемпотентные операции и событийная синхронизация, позволяющие пользователю работать с системой даже при нестабильном соединении, а при восстановлении сети — корректно синхронизировать данные без потери целостности. Такой подход повышает надёжность и удобство использования приложения в реальных эксплуатационных условиях.

Среди ключевых рисков проектирования выделяются: зависимость от внешних SMS-провайдеров, возможные ограничения при масштабировании брокера сообщений при большом количестве обслуживаемых объектов, а также необходимость контроля за объёмом логов.

Для снижения этих рисков предложены следующие архитектурные меры:

- 1) введение адаптерного слоя доставки;
- 2) строгая контрактная валидация взаимодействия сервисов;
- 3) реализация механизмов ротации и архивирования журналов событий.

Такие решения создают устойчивую основу для дальнейшего развития системы и её эксплуатации в промышленных условиях.

Безопасность взаимодействия компонентов является одним из центральных аспектов проектирования. Аутентификация пользователей реализуется на основе JSON Web Token (JWT), что обеспечивает надёжную и масштабируемую модель контроля доступа. Дополнительно предусмотрена возможность интеграции с внешними сервисами через протокол OAuth2, что расширяет возможности подключения корпоративных и образовательных систем.

Для защиты каналов передачи данных все сетевые взаимодействия шифруются с использованием протокола TLS, а входящие webhook-запросы подписываются HMAC-ключом, что гарантирует подлинность источника сообщений. В приложении используется модель минимальных прав доступа: пользователю предоставляются только те разрешения, которые необходимы для выполнения его задач. Все критические операции фиксируются в журнале аудита, что позволяет проводить последующий анализ и расследование инцидентов.

API-шлюз выполняет роль центральной точки контроля безопасности и мониторинга, обеспечивая единые правила аутентификации, лимитирование частоты запросов и централизованное логирование. Для упрощения интеграции с клиентским приложением разработан SDK, который автоматизирует регистрацию устройства, обработку глубоких ссылок и обеспечивает устойчивую синхронизацию данных в случае временной потери соединения. Это создаёт надёжный фундамент для безопасного и предсказуемого взаимодействия между приложением и серверной частью, что особенно важно при эксплуатации системы в распределённой среде [2].

**Заключение.** Предложенная архитектура бэкенд-компонента ориентирована на прямую и быструю интеграцию с приложением и обеспечивает централизованный учёт, гибкое планирование ТО и надёжную доставку уведомлений. Проект уменьшает сложность клиентской части, обеспечивает масштабируемость и безопасность системы и готов к поэтапной интеграции с существующими приложениями и внешними сервисами.

1. Горев Я.Н. Актуальность автоматизации складского учёта на современных предприятиях // Вестник науки №8 (65) – 2023. – Т. 1 – С. 111–115. – URL: <https://www.вестник-науки.рф/article/9703> (дата обращения: 20.10.2025).

2. Фирер А. В., Киргизова Е. В. Автоматизация учёта и мониторинга активного сетевого оборудования / А. В. Фирер, Е. В. Киргизова // Международный научно-исследовательский журнал. – 2024. – № 10(148). – URL: <https://doi.org/10.60797/IRJ.2024.148.149> (дата обращения: 18.10.2025).

## DEVELOPMENT OF ALGORITHMS FOR THE MOTION OF LINK POINTS IN A MECHANISM

*Chen Peng<sup>1</sup>, Pestun D.A.<sup>2</sup>*

*<sup>1</sup> Master's student, <sup>2</sup> 4th-year student at VSU named after P.M. Masherov, Vitebsk, Republic of Belarus*

*Scientific supervisor – Buyevich A.E., Candidate of Engineering Sciences, Docent*

Keywords. Trajectory, executive tool, kinematic analysis, mathematical models, computer-aided design systems, algorithm, mechanism, block principle, numerical methods.

Research Objective. The objective of this study is to develop and implement algorithms for calculating the trajectories of executive tools based on the kinematic analysis of Assur groups, ensuring high precision and efficiency in the motion control of computer-aided design (CAD) systems. In the modern design of complex mechanisms, a critical challenge is the creation of mathematical models capable of accurately predicting the motion of executive elements and optimising their trajectories. The proposed approach is grounded in the block principle of analysis, wherein complex mechanisms are decomposed into Assur groups—significantly simplifying the solution of kinematic and dynamic problems.

**Material and Methods.** Trigonometric formulae were employed to determine point positions; numerical methods were used to solve systems of nonlinear equations; and the block principle was applied to analyse mechanisms as assemblies of Assur groups.

Results and Discussion. The foundation of the developed algorithms is a mathematical model comprising a system of equations and procedures describing the kinematics—position, velocity, and acceleration—of executive mechanism elements. The core components of the model include:

Kinematic Component:

- position equations for points expressed in terms of geometric parameters and rotational angles;
- algorithms for calculating velocities and accelerations using trigonometry and differentiation.

Under the block principle, complex mechanisms are partitioned into Assur groups, each analysed independently. Figure 1 illustrates the kinematic diagram of a crank-slider mechanism in a Cartesian coordinate system.

The sequential analysis procedure for a crank-rocker mechanism is as follows:

- First, the Class I group (driver link, the crank) is analysed;
- results are then transferred to the Class II group for subsequent calculations.