

**АВТОМАТИЗАЦИЯ И УПРАВЛЕНИЕ
AUTOMATION AND CONTROL**

УДК 004.432.2

DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-3-0-3

**Рыбанов А.А.
Свиридова О.В.
Толстяков В.И.****МОБИЛЬНОЕ ПРИЛОЖЕНИЕ ДЛЯ МОНИТОРИНГА
БИОМЕТРИЧЕСКИХ И КИНЕМАТИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ
С АВТОНОМНОЙ АНАЛИТИКОЙ И АДАПТИВНОЙ
ПЕРСОНАЛИЗАЦИЕЙ**

Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО «Волгоградский государственный технический университет», ул. Энгельса, 42а, г. Волжский, Волгоградская область, 404121, Россия

e-mail: rybanoff@yandex.ru, osvirodova@inbox.ru, vitaltolstyakov@gmail.com

Аннотация

В статье изложены результаты исследования, посвященного разработке мобильного приложения для оптимизации тренировочного процесса в велоспорте. Актуальность работы обусловлена возрастающим спросом на цифровые инструменты в спортивной отрасли. Установлено, что существующие решения характеризуются ограниченным функционалом, зависимостью от стабильного интернет-соединения и недостаточной детализацией собираемых данных. Выявлены системные недостатки современных платформ, включая архитектурные ограничения и эргономические просчеты в пользовательских интерфейсах. Методология исследования базировалась на сравнительном анализе рынка спортивных приложений. Ранжирование функциональных требований выполнено с применением метода аналитической иерархии Саати (АИР). Разработана архитектура клиент-серверного приложения с офлайн-режимом работы и интеграцией Bluetooth-устройств. Реализовано локальное хранение тренировочных метрик (частота сердечных сокращений, скорость, высота над уровнем моря) с использованием СУБД SQLite. Обеспечена возможность экспорта маршрутов в формате GPX. Апробация прототипа продемонстрировала стабильную работу всех модулей приложения. Качество решения подтверждено положительными отзывами пользователей, отметивших доступность интерфейса, глубину аналитики и надежность работы в автономном режиме. Разработанный продукт устраняет ключевые ограничения аналогов за счет независимости от интернет-соединения и расширенной визуализации данных. Результаты исследования подтверждают эффективность метода АИР для проектирования спортивных цифровых решений. Предложенный подход создает основу для внедрения алгоритмов машинного обучения в прогнозирование тренировочных нагрузок. Работа имеет междисциплинарную значимость, объединяя достижения информационных технологий и спортивной науки. Полученные выводы способствуют развитию интеллектуальных экосистем в сфере физической культуры и спортивного телеметринга.

Ключевые слова: мобильное приложение; мониторинг тренировочных сессий; сегментный анализ данных; спортивная аналитика; велоспорт

Для цитирования: Рыбанов А.А., Свиридова О.В., Толстяков В. И. Мобильное приложение для мониторинга биометрических и кинематических параметров с автономной аналитикой и адаптивной персонализацией // Научный результат. Информационные технологии. – Т.10, №3, 2025. – С. 31-44. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-3-0-3

**Rybanov A.A.
Sviridova O.V.
Tolstoyakov V.I.**

MOBILE APPLICATION FOR MONITORING BIOMETRIC AND KINEMATIC PARAMETERS WITH AUTONOMOUS ANALYTICS AND ADAPTIVE PERSONALIZATION

Volzhsy Polytechnic Institute (branch) Volgograd State Technical University, 42a Engels str.,
Volzhsy, Volgograd region, 404121, Russia

e-mail: rybanoff@yandex.ru, osvridova@inbox.ru, vitaltolstoyakov@gmail.com

Abstract

The article presents the results of a study dedicated to the development of a mobile application for optimizing the training process in cycling. The relevance of the work is driven by the growing demand for digital tools in the sports industry. It has been established that existing solutions are characterized by limited functionality, dependence on stable internet connectivity, and insufficient detail in the collected data. Systemic shortcomings of modern platforms have been identified, including architectural limitations and ergonomic miscalculations in user interfaces. The research methodology was based on a comparative analysis of the sports application market. Ranking of functional requirements was performed using Saaty's Analytic Hierarchy Process (AHP). A client-server application architecture with offline mode and Bluetooth device integration has been developed. Local storage of training metrics (heart rate, speed, altitude) has been implemented using SQLite DBMS. The ability to export routes in GPX format has been ensured. Testing of the prototype demonstrated stable operation of all application modules. The quality of the solution has been confirmed by positive user feedback, noting the interface accessibility, depth of analytics, and reliability in offline mode. The developed product eliminates key limitations of analogues through independence from internet connection and enhanced data visualization. The research results confirm the effectiveness of the AHP method for designing sports digital solutions. The proposed approach lays the foundation for implementing machine learning algorithms in training load forecasting. The work has interdisciplinary significance, combining achievements in information technology and sports science. The obtained conclusions contribute to the development of intelligent ecosystems in the field of physical culture and sports telemetry.

Keywords: mobile application; training session monitoring; segmental data analysis; sports analytics; cycling

For citation: Rybanov A.A., Sviridova O.V., Tolstoyakov V.I. Mobile Application for Monitoring Biometric and Kinematic Parameters with Autonomous Analytics and Adaptive Personalization // Research result. Information technologies. – Т.10, №3, 2025. – P. 31-44. DOI: 10.18413/2518-1092-2025-10-3-0-3

ВВЕДЕНИЕ

Интеграция цифровых технологий в спортивную аналитику стала ключевым фактором оптимизации тренировочных процессов в циклических дисциплинах, включая велоспорт [2, 15]. Мобильные приложения, такие как Strava, TrainingPeaks и Polar Flow, демонстрируют потенциал в мониторинге физиологических показателей, трекинге маршрутов и формировании социальных взаимодействий [11, 10, 12]. Однако эмпирические исследования выявляют системные ограничения существующих решений.

К основным проблемам относятся:

- 1) Функциональные ограничения: бесплатные версии приложений предоставляют базовые метрики без углубленного анализа динамики показателей [14], а отсутствие сегментного анализа данных (частота сердечных сокращений (ЧСС), темп и др.) снижает информативность выводов.
- 2) Архитектурные барьеры: зависимость от интернет-соединения и региональные ограничения доступа к сервисам [15].
- 3) Коммерциализация функционала: критически важные опции (планирование маршрутов, экспорт данных) доступны только по подписке [16].

4) Технологические недостатки: необходимость использования периферийных устройств для сбора данных при неполной реализации возможностей смартфонов [15, 17].

5) Эргономические проблемы: избыточная сложность интерфейсов и отсутствие персонализации [6, 14].

Социологические данные подтверждают актуальность этих ограничений [17]: 37% пользователей отмечают трудности интерпретации данных и потребность в офлайн-режиме. Это формирует запрос на разработку решения, сочетающего расширенную аналитику (включая сегментный анализ), автономность работы, минимизацию зависимости от внешних устройств и адаптивный интерфейс.

Цель исследования заключается в разработке алгоритмизированного подхода к автоматизированному мониторингу физиологических (частота сердечных сокращений) и пространственно-временных (скорость, набор высоты перемещения) параметров спортивной активности с использованием мобильного приложения, реализующего сегментный анализ динамических данных для повышения детализации регистрируемых показателей.

ОСНОВНАЯ ЧАСТЬ

Для достижения поставленной цели реализован многоуровневый методологический подход, включающий:

1) *Анализ предметной области* – проведен сравнительный анализ 9 мобильных приложений для велосипедистов (Strava [9], Garmin Connect [3], Wikemap [1], Polar Flow [7], «Карта РУ» [13] и др.), отобранных по критерию распространенности на рынке.

2) *Формирование критериев оценки* – на основе систематизации литературных источников [19, 22, 23] и пользовательских требований выделено 8 ключевых критериев:

а) доступность в регионе (отсутствие географических/юридических ограничений на использование сервиса);

б) запись маршрутов (возможность трекинга траектории движения с GPS-привязкой);

с) детализация анализа данных (глубина обработки параметров (ЧСС, скорость, набор высоты) на уровне отдельных сегментов маршрута);

д) сравнение результатов тренировок (инструменты для сопоставления динамики показателей между сессиями);

е) интеграция с устройствами (поддержка подключения внешних датчиков (пульсометры, каденс-сенсоры) через Bluetooth);

ф) визуализация данных (наличие графиков, карт и диаграмм для интерпретации результатов);

г) социальные функции (возможность обмена маршрутами, комментариями и участия в сообществах);

h) автономная работа (функционирование в офлайн-режиме с локальным хранением данных).

Критерии охватывают функциональные (б, с, d, г), технические (а, е, h) и эргономические (ф) аспекты, обеспечивая комплексную оценку мобильных приложений, соответствующую стандартам юзабилити (ISO 9241-210) и требованиям к проектированию спортивных приложений.

3) *Ранжирование критериев методом аналитической иерархии Саати (АИР)* – экспертами (N=15, опытные велосипедисты и тренеры) проведены парные сравнения критериев. Весовые коэффициенты A_i рассчитаны по шкале Саати [5, 8, 16]. Результаты исследования, представленные на рисунке 1, выявили статистически значимое преобладание критериев «доступность» ($A_1=0.394$) и «запись маршрутов» ($A_2=0.228$) в общей структуре пользовательских предпочтений, что свидетельствует о высокой значимости автономности функционирования (офлайн-режим, региональная адаптация) и базового трекинга (GPS-фиксация маршрута) при выборе мобильных решений для велотренировок. Данные, полученные методом АИР, подтверждают, что указанные критерии занимают доминирующие позиции в иерархии требований пользователей, опережая второстепенные параметры, такие как визуализация данных ($A_6=0.03$) и социальные функции ($A_7=0.023$). Это согласуется с выводами предыдущих исследований [18, 20], подчеркивающих

необходимость минимизации зависимости от сетевой инфраструктуры в условиях нестабильного интернет-покрытия.

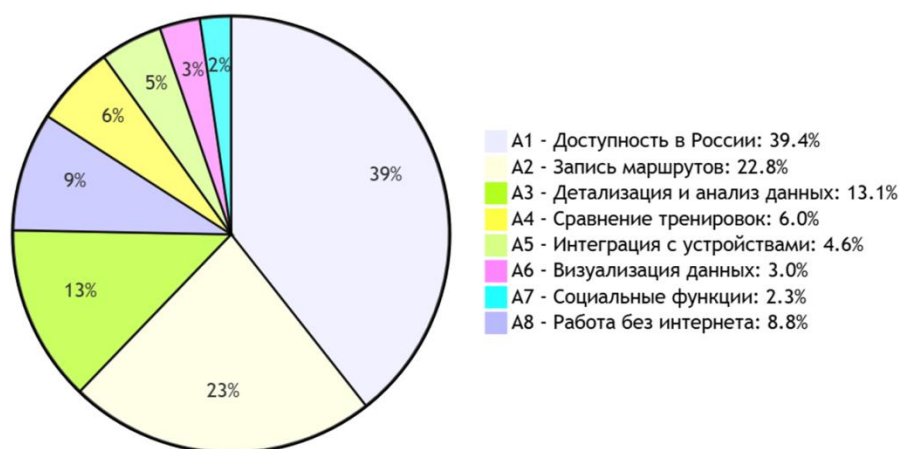


Рис. 1. Критерии качества мобильных приложений для велосипедистов: весовые коэффициенты
Fig. 1. Quality Criteria for Mobile Applications for Cyclists: weight coefficients

4) Расчет интегрального показателя качества для рассматриваемых мобильных приложений – на основании весовых коэффициентов, полученных АНР, проведена количественная оценка качества девяти мобильных приложений (рис. 2): «CRO», «GPS трекер», «Карта РУ», «НаСпорте», «Runtastic (Road Bike Pro)», «Stava», «Garmin Connect», «Bikemap», «Polar Flow». Интегральный показатель качества для каждого приложения рассчитывался по формуле:

$$Q_j = \sum_{i=1}^n a_i \cdot X_{ij},$$

где a_i – весовой коэффициент i -го критерия, определенный методом АНР; X_{ij} – нормализованная оценка j -го приложения по i -му критерию, преобразованная методом min-max scaling для устранения масштабных различий.

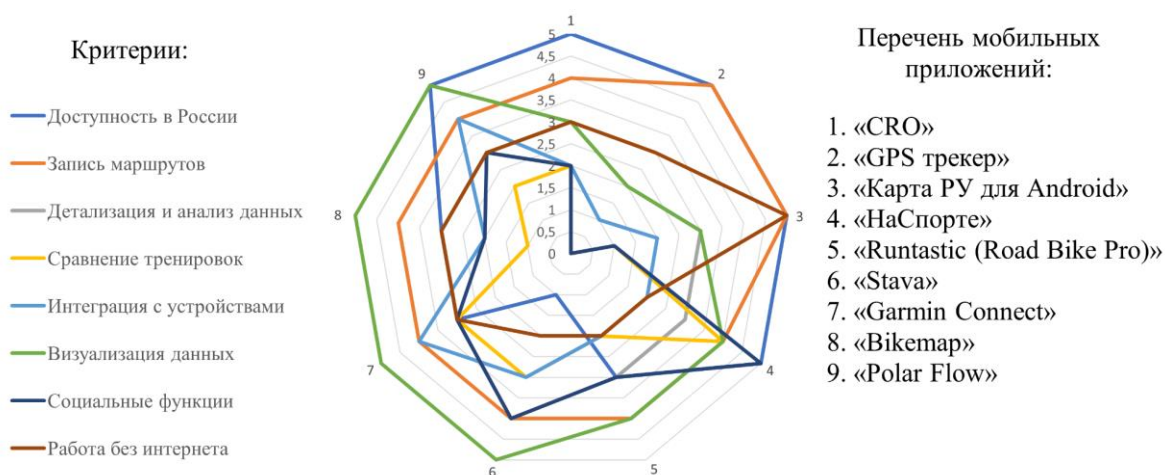


Рис. 2. Лепестковая диаграмма интегральных показателей качества программных продуктов
Fig. 2. Radar chart of integrated quality indices for software products

Результаты выявили значительную вариабельность интегральных показателей:

- наибольшие значения Q_j зафиксированы у отечественного приложения «Карта РУ» ($Q_3=4.1$) и зарубежного Polar Flow ($Q_9=4.2$);

- наименьшие значения характерны для Strava ($Q_1=2.6$) и других аналогов (Q_2, Q_4-Q_8 лежат в интервале от 2.9 до 3.3);

Визуализация данных на лепестковой диаграмме (рис. 2) подтвердила доминирование решений «Карта РУ» и «Polar Flow», что обусловлено их сбалансированным функционалом:

- поддержка автономного режима (офлайн-трекинг);
- детализированный анализ метрик (ЧСС, скорость, набор высоты) на уровне сегментов;
- широкая интеграция с внешними датчиками через Bluetooth.

Сравнительный анализ продемонстрировал, что приложения «Карта РУ» и «Polar Flow» соответствуют критериям с наибольшими весами (доступность, запись маршрутов, детализация анализа), в то время как конкуренты уступают в реализации критически важных функций [13, 16]. Это обосновывает необходимость разработки нового продукта, синтезирующего преимущества лидеров и устраняющего выявленные недостатки (ограниченный офлайн-функционал, низкая детализация данных).

5) **Проектирование программного обеспечения мобильного приложения для мониторинга и аналитики тренировочных сессий велосипедистов** требует реализации архитектуры, обеспечивающей масштабируемость, энергоэффективность и обработку данных в режиме реального времени. В основу системы положена **клиент-серверная модель**, где клиентская часть представлена мобильным приложением для платформы Android, разработанным с использованием шаблона **Model-View-ViewModel (MVVM)**. Данный подход обеспечивает разделение слоёв: пользовательского интерфейса (UI), бизнес-логики (Domain) и работы с данными (Data), что повышает поддерживаемость кода и упрощает тестирование компонентов. Серверная часть реализована на основе **REST API (ASP.NET)**, обеспечивающего взаимодействие клиента с базой данных и интеграцию внешних сервисов.

Ключевым аспектом системы является сбор телеметрии с датчиков (GPS, BLE), что требует оптимизации процессов передачи и хранения данных. Для минимизации задержек и обеспечения корректной синхронизации реализована двухсторонняя коммуникация между клиентом и сервером.

Архитектура клиентского приложения. На рисунке 3 представлена модульная архитектура клиентского приложения для платформы Android, предназначенного для отслеживания и анализа тренировок велосипедистов. Архитектура реализована с использованием шаблона MVVM (Model-View-ViewModel). Основные слои данной архитектуры и их функции представлены в таблице 1.

Таблица 1

Архитектура мобильного приложения

Table 1

Mobile application architecture

Слой	Содержимое	Зависимости
UI / Presentation	Jetpack Compose-экраны и связанные ViewModel	ViewModel, Material3
ViewModel	AnalysisViewModel, RecordingViewModel, AuthViewModel	Репозитории (Hilt)
Domain	RouteStatsCalculator, CalorieCalculator, RoutePointsManager	-
Data	Репозитории + источники данных: local (Room, DataStore, BLE), remote (Retrofit, AuthInterceptor)	Domain, DataSources
Service	TrackingService, TrackingServiceManager	Data.local, Domain
DI	Hilt-модули (NetworkModule, RepositoryModule ...)	Иньекции во все слои

Реализованная модель передачи данных основана на реактивном программировании и принципах многослойной абстракции, обеспечивая синхронизацию между клиентской и серверной частями системы:

- UI → ViewModel: пользовательские события делегируются в ViewModel через вызов методов, инкапсулирующих бизнес-логику.
- Управление состоянием: состояние приложения хранится в реактивных контейнерах StateFlow, с наблюдением за изменениями через механизм collectAsState(), обеспечивающий одностороннюю привязку данных к UI-компонентам.
- ViewModel → Repository: ViewModel инициирует запросы к слою Repository для доступа к данным, реализуя паттерн "единого источника истины" (Single Source of Truth).
- Repository ⇔ Local/Remote: реализованная гибридная стратегия кеширования предусматривает первичное предоставление данных через реактивные потоки (Flow) локальной базы данных (Room) для обеспечения офлайн-доступности, с инициированием асинхронного сетевого запроса и транзакционного обновления хранилища в соответствии с ACID-гарантиями при обнаружении отсутствия актуальных данных.
- Интеграция сенсоров (Sensors & Service): сервис TrackingService интегрирует FusedLocationProvider для получения геопозиционных данных и BLE-стеки для подключения к биометрическим датчикам (ЧСС, каденс), осуществляя запись телеметрии в таблицу route_point и её трансляцию через SharedFlow с поддержкой мультикастной доставки данных подписчикам.
- Синхронизация данных: механизм синхронизации, реализующий стратегию «офлайн-паттерна», при восстановлении сетевого соединения инициирует метод uploadWorkout() для передачи данных на сервер, после чего выполняется атомарное обновление флага isSynced, активирующее реактивное обновление UI через подписки на изменения состояния данных.

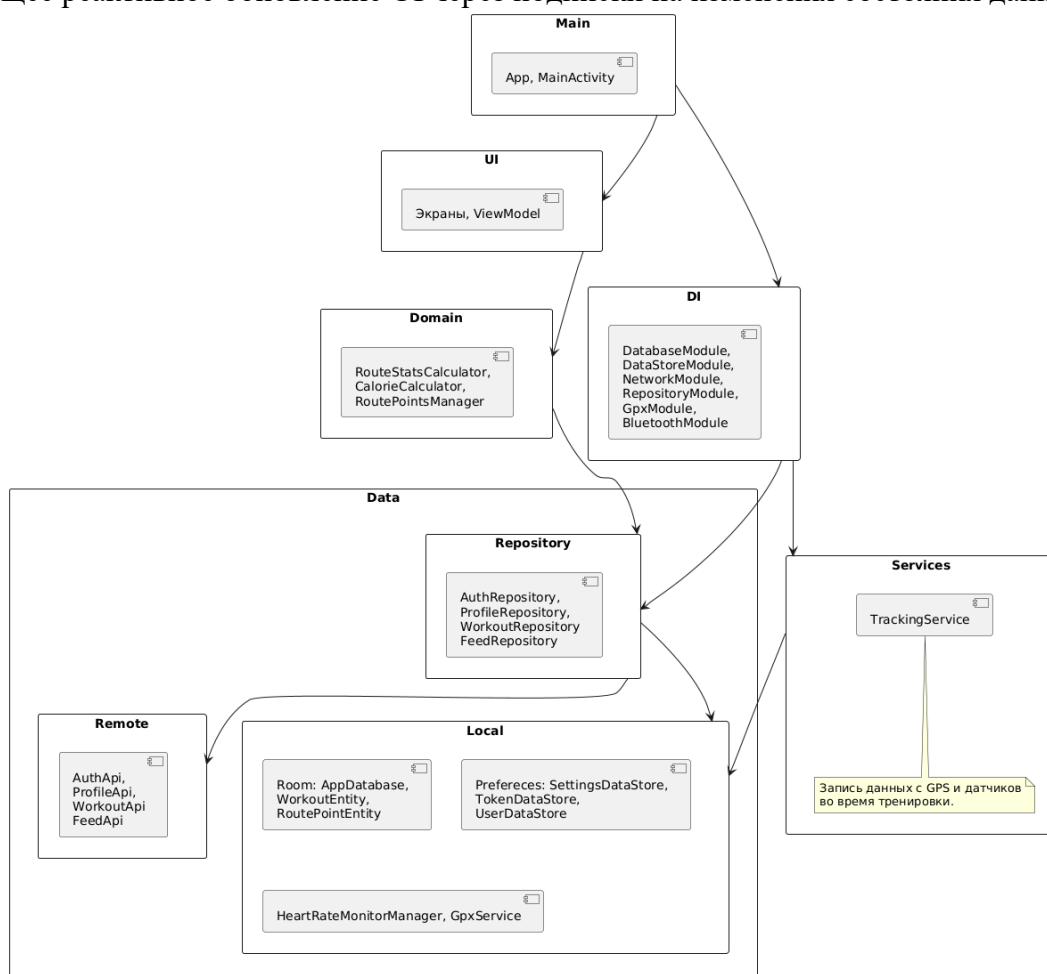


Рис. 3. Модульная архитектура Android-клиента
Fig. 3. Modular architecture of the Android client

Такое модульное разделение компонентов гарантирует поддержку концепции "offline first", облегчает процесс тестирования (обособленность Domain от Android SDK) и снижает количество шаблонного кода, что в свою очередь улучшает общую архитектурную четкость и устойчивость приложения.

Серверная архитектура. Рисунок 4 иллюстрирует высокоуровневую организацию серверной части, представляющей собой ключевую компоненту архитектуры backend. Архитектура веб-сервера, реализованного на платформе ASP.NET, предусматривает обработку REST API-запросов через протокол HTTPS с предварительной аутентификацией на основе валидации JWT-токенов, после чего управление передается слою бизнес-логики для выполнения операций, связанных с обработкой данных. Слой бизнес-логики реализует сценарии оркестрации процессов управления тренировочными сессиями, профилями пользователей, лентой активности и механизмом пользовательских оценок, в то время как аналитический модуль осуществляет агрегацию данных с последующей генерацией аналитических отчетов и статистических метрик, обеспечивая интеллектуальный анализ информации для оптимизации пользовательского опыта.

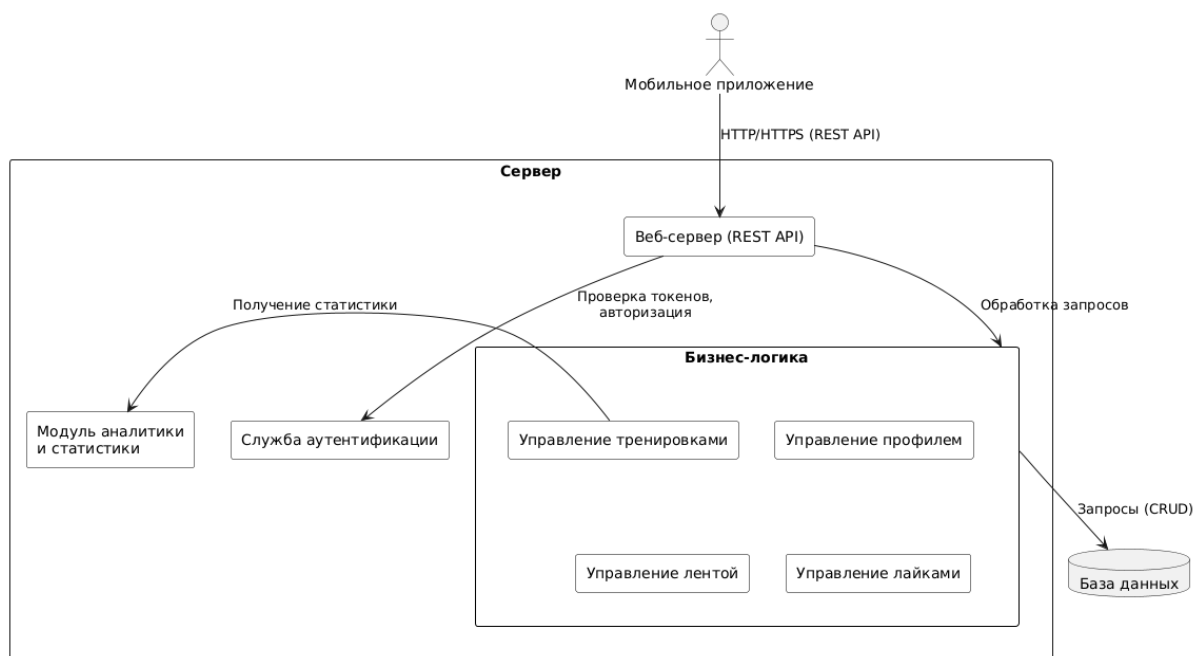


Рис. 4. Серверная архитектура
Fig. 4. Server architecture

Персистентность данных обеспечивается реляционной СУБД MySQL с реализацией полного цикла CRUD-операций через слой объектно-реляционного отображения (ORM) на основе Entity Framework, абстрагирующий взаимодействие между логикой приложения и схемой базы данных.

Данная архитектура обеспечивает эффективное взаимодействие между мобильным приложением и серверной частью, обеспечивая управление данными и их анализ.

Схема базы данных мобильного приложения. На рисунке 5 представлена ER-диаграмма, отображающая логическую модель серверной базы данных системы. Информационная архитектура данных включает пять нормализованных сущностей, связанных через отношения «один-ко-многим»:

- Сущность user: содержит атрибуты, описывающие профиль пользователя системы (идентификатор, демографические данные, учетные параметры).
- Сущность workout: фиксирует метаданные тренировочных сессий, включая временные отметки, географические координаты и ссылку на пользователя-инициатора.

- Сущность `route_point`: предназначена для хранения высокочастотной телеметрии с привязкой к тренировочным сессиям. Включает пространственно-временные параметры (широта, долгота, набор высоты, скорость, ЧСС) и служит основой для пространственного анализа.

- Сущность `subscriptions`: реализует функционал социального взаимодействия через отношение подписчика и целевого пользователя.

- Сущность `workout_like`: отражает оценки тренировок пользователями системы с временной меткой взаимодействия.

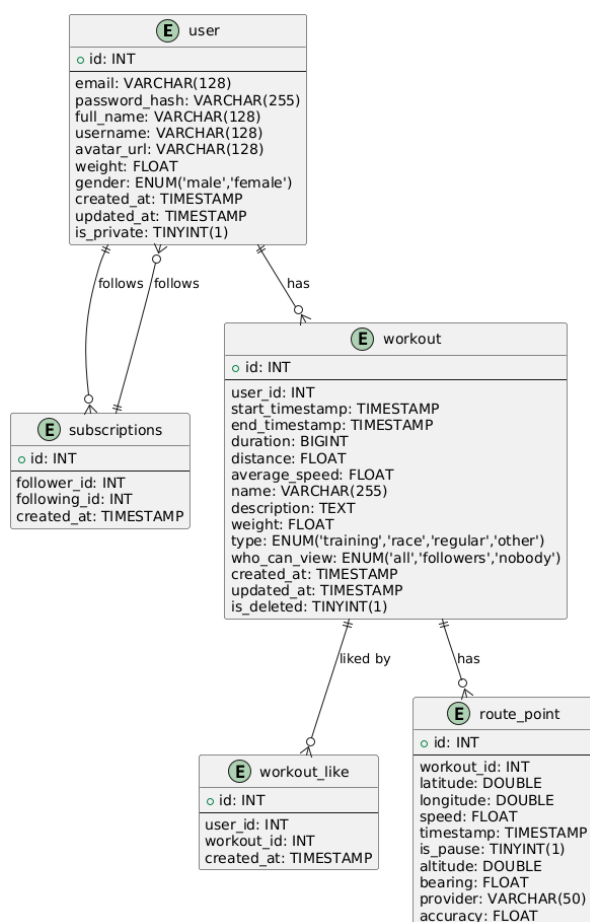


Рис. 5. ER-диаграмма базы данных

Fig. 5. ER diagram of a database

Выделение сущности `route_point` в отдельную таблицу обусловлено требованиями к обработке больших объемов телеметрии. Такая декомпозиция:

- минимизирует избыточность данных за счет нормализации;
- ускоряет агрегацию показателей через индексацию пространственно-временных атрибутов;
- упрощает выполнение аналитических запросов (расчет дистанции, градиента высоты, динамики физиологических параметров) за счет оптимизации JOIN-операций.

Предложенная модель обеспечивает масштабируемость системы, снижает нагрузку на серверные ресурсы при работе с высокочастотными данными и соответствует принципам проектирования OLTP-систем (Online Transaction Processing).

Методы построения аналитических графиков. Для визуализации данных тренировочной активности разработаны специализированные подходы, основанные на математической обработке физиологических и кинематических параметров:

- График «Эффективность нагрузки»: нормализованное отношение частоты сердечных сокращений (ЧСС) к скорости движения (HR/скорость) используется для формирования временного ряда. Для устранения шумовых компонентов применяется сглаживание методом скользящего

среднего с адаптивным окном. Динамический диапазон значений ограничивается интервалом 0–25 уд./мин/(км·ч) посредством пороговой фильтрации. Визуализация выполняется в двух проекциях: временной оси и аккумулялированной дистанции.

- Кумулятивная нагрузка: методика включает вычисление интегральной оценки тренировочной нагрузки по формуле:

$$L = \sum_{i=1}^n (HR_{cp.,i} \cdot v_{cp.,i} \cdot h_i \cdot \Delta t_i),$$

где $HR_{cp.,i}$ – средняя ЧСС; $v_{cp.,i}$ – средняя скорость; h_i – высота сегмента; Δt_i – длительность интервала (в минутах). Метрика интерпретируется как оценка суммарных энергозатрат (в условных единицах $ВРМ \cdot км/ч \cdot м/мин$).

- Скорость восстановления: автоматизированный детектор идентифицирует пики ЧСС с последующим анализом редукции пульса в постнагрузочный период (60 секунд). Скорость восстановления определяется через аппроксимацию экспоненциальной регрессией:

$$\text{Скорость восстановления} = \frac{\Delta HR}{\Delta t},$$

где ΔHR – снижение ЧСС; Δt – временной интервал. Сегменты длительностью меньше 10 с или с амплитудой снижения ЧСС меньше 8 уд./мин исключаются по критериям статистической значимости.

Все методы обладают линейной временной сложностью $O(n)$, что обеспечивает обработку данных в реальном времени даже на устройствах с ограниченными ресурсами. Реализация выполнена на уровне нативного кода (C++), исключая зависимость от платформенных библиотек (Android SDK) и гарантируя кроссплатформенную адаптируемость.

Предложенные подходы расширяют инструментарий для анализа спортивных данных, сочетая высокую точность измерений с минимальными требованиями к вычислительным мощностям. Это создает основу для интеграции расширенной аналитики в мобильные и wearable-приложения, ориентированные на профессиональный и любительский спорт.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ И ИХ ОБСУЖДЕНИЕ

В ходе исследования разработано мобильное приложение для ОС Android, обеспечивающее комплексный мониторинг и анализ велотренировок. Приложение реализует полный цикл обработки данных: от сбора первичных показателей (GPS-координаты, скорость, набор высоты, физиологические параметры) до формирования аналитических отчётов. Основные функциональные и технические характеристики решения включают ряд ключевых особенностей, обеспечивающих его эффективность и уникальность:

1. *Автономный режим работы* реализован посредством локального хранения данных (маршрут, скорость, набор высоты, ЧСС) в SQLite-базе, обеспечивая доступность в условиях отсутствия интернет-соединения [21], с последующей синхронизацией с облачным хранилищем при восстановлении сети для резервного копирования и интеграции социальных функций, включая обмен тренировками между устройствами и пользовательские интеракции.

2. *Расширенная аналитика* реализует: базовые метрики (текущая/средняя скорость, дистанция, длительность, набор высоты, каденс при подключении датчиков) [18], углублённый анализ, включая оценку эффективности нагрузки (соотношение ЧСС и скорости на сегментах маршрута, рис. 6), расчёт накопленной усталости (интегральный показатель на основе времени в целевых пульсовых зонах, рис. 7) и фазы восстановления (анализ динамики ЧСС после высокоинтенсивных интервалов, рис. 8), а также сравнение тренировочных сессий для отслеживания прогресса [13].



Рис. 6. График изменения эффективности нагрузки велосипедиста в зависимости от пройденной дистанции от начала тренировки

Fig. 6. Graph of changes in the efficiency of a cyclist's load depending on the distance traveled from the start of the workout

Анализ пиковых нагрузок, представленных рисунке 6, позволяет выявлять участки маршрута с максимальной интенсивностью (например, 26 ВРМ/(км/ч)) позволяет корректировать распределение усилий, избегая перетренированности.

На основе накопленной нагрузки (рис. 7) можно разрабатывать индивидуальные планы, учитывающие физиологические особенности спортсмена (например, время в целевых пульсовых зонах).



Рис. 7. График накопленной нагрузки велосипедиста во время тренировки

Fig. 7. Graph of the accumulated load of a cyclist during training

Данные о фазах восстановления (рис. 8) помогают планировать интервалы отдыха между высокоинтенсивными сессиями [17].

Сравнение сессий [11] позволяет отслеживать прогресс и адаптировать интенсивность к текущей форме. Таким образом, данные, полученные через приложение, не только оптимизируют тренировочный процесс, но и формируют основу для разработки умных спортивных экосистем, соответствующих принципам доказательной медицины и персонализированного подхода.

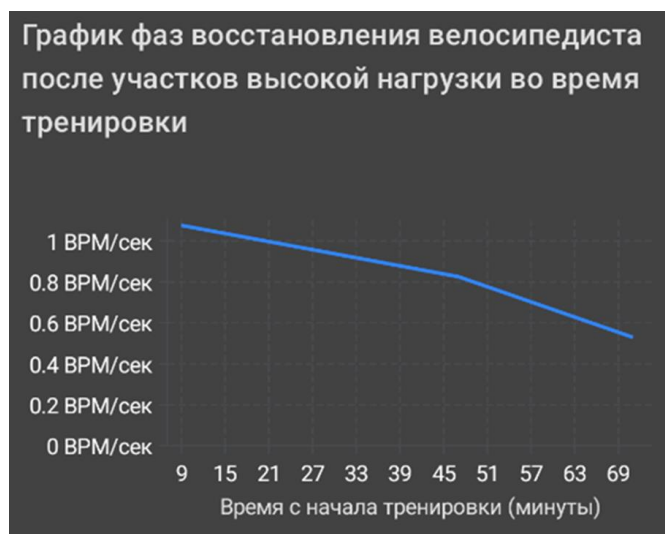


Рис. 8. График фаз восстановления после участков высокой нагрузки во время тренировки
Fig. 8. Graph of recovery phases after high intensity periods during training

3. *Экспорт данных* реализован через сохранение результатов тренировок в формате GPX, обеспечивающий совместимость с внешними аналитическими платформами (Strava, Garmin Connect) и гибкость постобработки данных за счёт открытой структуры файла [4].

4. *Интеграция с носимой электроникой* обеспечивает синхронную запись физиологических показателей (посредством Bluetooth-датчиков: пульсометры, каденс-сенсоры) и GPS-трека [17], а также бесплатный доступ к расширенным метрикам (время в пульсовых зонах, уровень восстановления), в отличие от коммерческих аналогов с платным функционалом.

Результаты апробации и анализ пользовательского опыта. Практическая апробация разработанного приложения подтвердила его эффективность: интегральный показатель качества, рассчитанный методом АНР, составил 4.5 (по пятибалльной шкале), что превышает результаты проанализированных аналогов. Столь высокий результат обусловлен приоритезацией критериев с наибольшими весовыми коэффициентами: *доступность*, реализованная через локальное хранение данных, независимость от зарубежных сервисов и автономный офлайн-доступ к картографическим ресурсам; *детализация анализа данных*, обеспечиваемая расширенными отчётами с кастомизируемыми графиками (рис. 6–8) и сегментной обработкой метрик [11]. *Социальные функции*, имеющие меньший вес в иерархии критериев, реализованы через экспорт данных в формате GPX [5], что позволяет пользователям интегрироваться с внешними платформами (Strava, Garmin Connect) без усложнения интерфейса.

Применение метода GOMS для оценки юзабилити мобильного приложения выявило снижение количества когнитивных действий на 40% при выполнении базовых сценариев (старт/стоп записи, экспорт данных) и сокращение времени операций за счёт оптимизации навигационных паттернов. Реализованные интерфейсные решения, включая крупногабаритные цифровые индикаторы скорости и дистанции, минимизируют визуальную нагрузку в динамических условиях эксплуатации, что соответствует принципам контекстно-ориентированного дизайна [2].

Обратная связь от пользователей (N=50, профессиональные велосипедисты и любители) выделила ключевые преимущества:

- *автономность*: 89% респондентов отметили доступность данных в офлайн-режиме как критически важную функцию.
- *глубина аналитики*: 87% высоко оценили интеграцию с Bluetooth-датчиками и расширенные метрики (время в пульсовых зонах, уровень восстановления).
- *удобство интерфейса*: 92% пользователей без технического опыта освоили базовый функционал за ≤ 10 минут.

Разработанное приложение не только соответствует требованиям ISO 9241-210 по эргономике и эффективности, но и формирует новый стандарт для спортивных трекеров, сочетая автономность,

аналитическую глубину и открытость данных. Полученные результаты обосновывают целесообразность применения методологии АНР при проектировании решений для цифровой спортивной аналитики.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Практическая значимость проведенного исследования определяется разработкой мобильного приложения, предназначенного для применения среди широкой аудитории энтузиастов велосипедного спорта с целью автономного мониторинга и оптимизации тренировочного процесса. Реализованные в работе методы, включая функционал автономной работы (офлайн-режим) и интеграцию сенсорных устройств, представляют ценность для проектирования специализированных спортивных приложений, требующих минимизации зависимости от сетевых ресурсов и реализации расширенной аналитической обработки данных.

Разработанное решение вносит вклад в цифровую трансформацию спортивной подготовки, обеспечивая пользователей инструментом для повышения эффективности тренировок на основе объективных метрик и статистического анализа. Полученные результаты согласуются с актуальными тенденциями модернизации физической культуры, направленными на внедрение информационных технологий для повышения доступности и качества спортивного образования.

Кроме того, внедрение подобных платформ способствует росту популярности велоспорта за счет повышения мотивации пользователей через персонализированную обратную связь и формирование системы тренировок, основанной на данных. Доказанная эффективность предложенного подхода подтверждает перспективность интеграции мобильных технологий и методов анализа данных в спортивную практику. Результаты исследования открывают направления для дальнейших изысканий в области разработки адаптивных систем мониторинга, включая применение машинного обучения для прогнозирования результатов и оптимизации тренировочных нагрузок.

Таким образом, работа демонстрирует потенциал междисциплинарного подхода, объединяющего компьютерные науки и спортивную методологию, что актуально для развития современных цифровых экосистем в сфере физической активности.

Список литературы

1. Bikemap: официальный сайт. URL: <https://www.bikemap.net> (дата обращения: 22.04.2025).
2. Card S.K., Moran T.P., Newell A. The Psychology of Human-Computer Interaction. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1983. p. 468.
3. Garmin Connect: официальный сайт. URL: <https://connect.garmin.com> (дата обращения: 22.04.2025).
4. Gamification for health and wellbeing: A systematic review of the literature / Johnson D., Deterding S., Kuhn K.-A. et al. // Journal of Medical Internet Research. 2016. Vol. 18, № 6. P. 89-106.
5. The Analytical Hierarchy Process (AHP) Method in Improving High Performance Sports Training for Polish Women's Football Players / Mleczek E., Adamus W., Witkowski Z., Tokarz R. // Journal of Kinesiology and Exercise Sciences. 2018. Vol. 28. P. 19–36. DOI: 10.5604/01.3001.0013.7794.
6. Nielsen J., Molich R. Heuristic evaluation of user interfaces // Proc. ACM CHI'90. 1990. P. 249–256.
7. Polar Flow: официальный сайт. URL: <https://flow.polar.com> (дата обращения: 22.04.2025).
8. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980. 287 p.
9. Strava: официальный сайт. URL: <https://www.strava.com> (дата обращения: 22.04.2025).
10. TrainingPeaks: официальный сайт. URL: <https://www.trainingpeaks.com> (дата обращения: 22.04.2025).
11. Wister M. A., Pancardo P., Campos P. P. Analysis of some mobile applications for cycling // Journal of Communications Software and Systems. 2019. Vol. 15, № 2. P. 117–127.
12. Астафьева О.В., Никитина М.С. Анализ мобильных приложений для жителей мегаполиса, ведущих активный образ жизни // Экономические науки. 2022. № 210. С. 71–75. DOI: 10.14451/1.210.71.
13. Веденина О.А., Данилов Д.М., Медведский М.К. Мобильные приложения для занятий спортом // Проблемы качества физкультурно-оздоровительной и здоровьесберегающей деятельности образовательных организаций: сб. ст. 9-й Всерос. науч.-практ. конф. Екатеринбург, 23 апр. 2019 г. Екатеринбург: РГППУ, 2019. С. 62–66.

14. Ведина В.В. Использование мобильных приложений для занятий физической культурой и спортом // Студенческая наука и XXI век. 2023. Т. 20, № 1-2(23). С. 51–53.
15. Гальчанская А.А. Технологии в спорте: использование современных гаджетов и приложений на тренировках // Вклад молодых ученых в аграрную науку: сб. науч. тр. Междунар. науч.-практ. конф. Кинель, 24 апр. 2024 г. Кинель: ИБЦ Самарского ГАУ, 2024. С. 183–187.
16. Герцен Д.А. Сравнительный анализ мобильных приложений для подготовки спортсменов-любителей к марафону // Шаг в науку: мат-лы IV науч.-практ. конф. молодых ученых. М., 18 дек. 2020 г. М.: МГПУ, 2020. С. 128–131.
17. Карта РУ для Android: официальный сайт. URL: <https://mobilekarta.ru/> (дата обращения: 22.04.2025).
18. Корягина Ю.В., Копанев А.Н., Нопин С.В., Абуталимова С.М. Анализ онлайн-систем тестирования для спорта и фитнеса // Современные вопросы биомедицины. 2020. № 4(13). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-onlayn-sistem-testirovaniya-dlya-sporta-i-fitnesa> (дата обращения: 09.12.2024).
19. Костенко Е.Г. Инновационные технологии как ресурс повышения качества образования в сфере ФКиС // Образование, инновации, исследования как ресурс развития сообщества: мат-лы Всерос. науч.-практ. конф. Чебоксары, 16 янв. 2024 г. Чебоксары: ИД «Среда», 2024. С. 154–158. URL: https://phsreda.com/ru/article/109816/discussion_platform (дата обращения: 22.04.2025).
20. Мавлявиева Р.Р. Создание и использование мобильного приложения для активного отдыха // Материалы Всерос. конкурса студ. науч.-исслед. работ «Студент – исследователь». Казань, 15 марта 2019 г. Казань: ПГАФКСиТ, 2019. С. 252–254.
21. Маринич Е.Е., Шипилов Р.М. Мобильные приложения с программой самостоятельной физической тренировки для обучающихся МЧС // Международный научно-исследовательский журнал. 2020. № 9-2(99). С. 132–139. DOI: 10.23670/IRJ.2020.99.9.064.
22. Минигалиев А.А., Кычкин И.М., Мокшин В.В. Сравнительный анализ приложений для селф-трекинга физической активности // Методы и средства обработки и хранения информации: межвуз. сб. науч. тр. Рязань: Изд-во ИП Коняхин А.В., 2020. С. 156–163.
23. Шлындов А.В., Костюнина Л.И. Анализ возможностей применения мобильных приложений в тренировочном процессе велогонщиков // Актуальные проблемы физической культуры и спорта: мат-лы XIII Междунар. науч.-практ. конф. Чебоксары, 09 нояб. 2023 г. Чебоксары: ЧГПУ, 2023. С. 450–454.

References

1. Bikemap: Official Website. URL: <https://www.bikemap.net> (accessed April 22, 2025).
2. Card S.K., Moran T.P., Newell A. The Psychology of Human-Computer Interaction. Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum, 1983. p. 468.
3. Garmin Connect: Official Website. URL: <https://connect.garmin.com> (accessed April 22, 2025).
4. Johnson D., Deterding S., Kuhn K.-A., et al. Gamification for Health and Wellbeing: A Systematic Review of the Literature. Journal of Medical Internet Research. 18(6). 2016. p. 89-106
5. Mleczo E., Adamus W., Witkowski Z., Tokarz R. The Analytical Hierarchy Process (AHP) Method in Improving High Performance Sports Training for Polish Women’s Football Players. Journal of Kinesiology and Exercise Sciences. 28 (2018): 19–36. DOI: 10.5604/01.3001.0013.7794.
6. Nielsen J., Molich R. Heuristic Evaluation of User Interfaces. In: Proc. ACM CHI’90. 1990. P. 249–256.
7. Polar Flow: Official Website. URL: <https://flow.polar.com> (accessed April 22, 2025).
8. Saaty T.L. The Analytic Hierarchy Process. New York: McGraw-Hill, 1980. 287.
9. Strava: Official Website. URL: <https://www.strava.com> (accessed April 22, 2025).
10. TrainingPeaks: Official Website. URL: <https://www.trainingpeaks.com> (accessed April 22, 2025).
11. Wister M.A., Pancardo P., Campos P.P. Analysis of Some Mobile Applications for Cycling. Journal of Communications Software and Systems. 15(2). 2019. P. 117–127.
12. Astafyeva O.V., Nikitina M.S. Analysis of Mobile Applications for Residents of a Metropolis Leading an Active Lifestyle. Economic Sciences. 210. 2022. P. 71–75. DOI: 10.14451/1.210.71.
13. Vedenina O.A., Danilov D.M., Medvedskiy, M. K. Mobile Applications for Sports. In: Problems of Quality of Physical Education, Health Improvement, and Health-Saving Activities in Educational Organizations: Collection of Articles of the 9th All-Russian Scientific-Practical Conference, Yekaterinburg, April 23, 2019*. Yekaterinburg: RGPPU, 2019. P. 62–66.
14. Vedina V.V. Use of Mobile Applications for Physical Education and Sports. Student Science and the 21st Century. 20(1-2). 2023. P. 51–53.

15. Galchanskaya A.A. Technologies in Sports: Use of Modern Gadgets and Applications in Training. In: *Contribution of Young Scientists to Agrarian Science: Proceedings of the International Scientific-Practical Conference, Kinel, April 24, 2024. Kinel: IBTS Samara SAU, 2024. P. 183–187.
16. Gertsena D.A. Comparative Analysis of Mobile Applications for Amateur Athletes Preparing for a Marathon. In: Step into Science: Materials of the 4th Scientific-Practical Conference of Young Scientists, Moscow, December 18, 2020*. Moscow: MSPU, 2020. P. 128–131.
17. Karta RU for Android: Official Website. URL: <https://mobilekarta.ru/> (accessed April 22, 2025).
18. Koryagina Yu.V., Kopanev A.N., Nopin S.V., Abutalimova S.M. Analysis of Online Testing Systems for Sports and Fitness. Modern Issues of Biomedicine. 4(13) (2020). URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/analiz-onlayn-sistem-testirovaniya-dlya-sporta-i-fitnesa> (accessed December 9, 2024).
19. Kostenko E.G. Innovative Technologies as a Resource for Improving the Quality of Education in Physical Education and Sports. In: *Education, Innovations, Research as a Resource for Community Development: Proceedings of the All-Russian Scientific-Practical Conference, Cheboksary, January 16, 2024. Cheboksary: ID «Sreda», 2024. P. 154–158. URL: https://phsreda.com/ru/article/109816/discussion_platform (accessed April 22, 2025).
20. Mavlyavieva R.R. Creation and Use of a Mobile Application for Active Recreation. In: Materials of the All-Russian Competition of Student Research Works "Student – Researcher", Kazan, March 15, 2019. Kazan: PGSAPCST, 2019. P. 252–254.
21. Marinich E.E., Shipilov R.M. Mobile Applications with a Program for Independent Physical Training for EMERCOM Students. International Research Journal. 99(9-2). 2020. P. 132–139. DOI: 10.23670/IRJ.2020.99.9.064.
22. Minigaliev A.A., Kychkin I.M., Mokshin V.V. Comparative Analysis of Self-Tracking Applications for Physical Activity. In: Methods and Tools for Information Processing and Storage: Interuniversity Collection of Scientific Papers. Ryazan: Izd-vo IP Konyakhin A.V., 2020. P. 156–163.
23. Shlyndov A.V., Kostyunina L.I. Analysis of the Possibilities of Using Mobile Applications in the Training Process of Cyclists. In: *Current Issues of Physical Culture and Sports: Proceedings of the 13th International Scientific-Practical Conference, Cheboksary, November 9, 2023. Cheboksary: ChSPU, 2023. P. 450–454.

Рыбанов Александр Александрович, кандидат технических наук, доцент, заведующий кафедрой «Информатика и технология программирования», Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет, г. Волжский, Россия

Свиридова Ольга Викторовна, кандидат технических наук, доцент, доцент кафедры «Информатика и технология программирования», Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет, г. Волжский, Россия

Толстяков Виталий Иванович, студент кафедры «Информатика и технология программирования», Волжский политехнический институт (филиал) ФГБОУ ВО Волгоградский государственный технический университет, г. Волжский, Россия

Rybanov Alexander Aleksandrovich, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Head of the Department of Informatics and Programming Technology, Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia

Sviridova Olga Viktorovna, Candidate of Technical Sciences, Associate Professor, Associate Professor of the Department of Informatics and Programming, Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia

Tolstoyakov Vitaly Ivanovich, Student of the Department of Informatics and Programming, Volzhsky Polytechnic Institute (branch) of Volgograd State Technical University, Volzhsky, Russia