

## РАЗРАБОТКА ИНТЕРАКТИВНОГО РЕШЕБНИКА ПО МАТЕМАТИЧЕСКОМУ АНАЛИЗУ

Добринец Е.Е., Староселец А.В., Тихомиров В.В.,  
Кушнеров А.В., Лаврова О.А.

*Белорусский государственный университет, Беларусь, г. Минск*

**Ключевые слова:** математический анализ, числовой ряд, сходимость ряда, вычислительное ядро, графический интерфейс, база данных.

Современное образование неизбежно требует внедрения информационных технологий в процесс обучения. На сегодняшний день создано множество приложений для хранения и получения знаний на различную тематику. К таким приложениям, как правило, относят всевозможные базы знаний и архивы знаний, электронные и онлайн задачки, а также специальные программы для обучения в игровой форме. Отдельное место занимают интерактивные решебники, способные взаимодействовать с пользователем в процессе поэтапного решения задачи.

Изучение различных разделов математики основано как на приобретении теоретических знаний, так и на их практическом применении. Закрепление теоретического материала на основе решения математических задач является неотъемлемой частью учебного процесса. С учетом повышенного интереса студентов к информационным технологиям создание приложений, которые внедряются в учебный процесс с целью выработки практических навыков, будет способствовать применению теоретических знаний по определенной дисциплине на практике, что может оказаться полезным опытом как для студента, так и для преподавателя.

В работе предложен проект электронного решебника по математическому анализу для задач, связанных с исследованием числовых рядов на сходимость. Проект представляет собой веб-приложение, которое обладает удобным и понятным пользовательским интерфейсом, имеет доступ к вычислительному ядру на Python, а также связано с реляционным хранилищем данных. Целью разрабатываемого веб-приложения является развитие навыков исследования числовых рядов на сходимость у студентов, обучающихся на математических специальностях, предоставление возможностей для интерактивного процесса обучения, а также внедрение современных компьютерных технологий в процесс обучения. Веб-приложение в виде решебника предоставляет пользователю не только ответ, но и возможность получения пошагового решения задачи с последовательным объяснением. Также в приложении присутствует интерактивность, которая представляет собой взаимодействие пользователя с системой, тем самым происходит имитация процесса обучения, что является стимулом для студентов к самостоятельному получению знаний.

### **Серверная часть приложения**

Проект приложения и первая его реализация на Wolfram Mathematica были осуществлены в курсовых работах [1,2]. Первая версия приложения продемонстрировала хорошие результаты, однако платформа разработки Wolfram Mathematica не подходит для развёртывания приложения и его широкого применения. Изучив архитектуру приложения, предложенную в [1,2], было принято решение использовать язык Python для дальнейшей разработки приложения. Реализация вычислительного ядра основана на алгоритме исследования числового ряда на сходимость, который был предложен и разработан в [1,2]. Алгоритм основан на использовании схемы анализа ряда на сходимость в виде дерева (рисунок 1). На вход алгоритма подается исследуемый числовой ряд, после чего происходит последовательное прохождение по дереву, см. рисунок 1, где каждый узел дерева представляет из себя проверку: выполнение некоторого признака сходимости, вхождение логарифма в общий член ряда или другие

характеристики, которые играют важную роль в исследовании ряда на сходимость. В зависимости от полученного результата в каждом узле алгоритм принимает решение о дальнейшем действии: продолжить исследование ряда либо остановиться и дать ответ на вопрос о сходимости. Данный алгоритм позволяет систематизировать процесс исследования числового ряда на сходимость, обеспечивая структурированный подход.

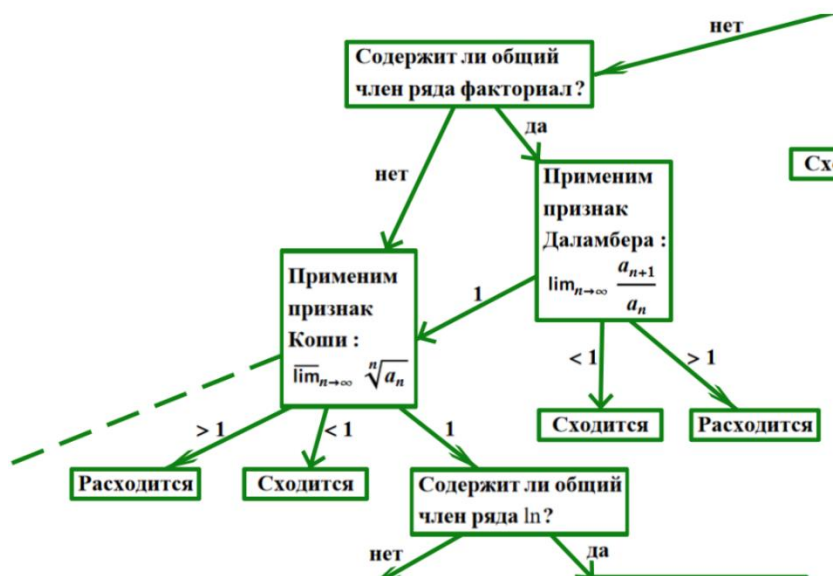


Рисунок 1. Фрагмент алгоритма исследования ряда в виде дерева [1,2]

Главная сущность разрабатываемой системы – это числовой ряд. В Python числовой ряд представляется в виде пользовательского класса *Series*, экземпляры которого имеют три атрибута: общий член ряда, пределы суммирования, а также индекс последовательности элементов ряда. Для реализации алгоритма созданы отдельные функции, которые реализуют различные признаки сходимости ряда. Данные функции работают с экземплярами класса *Series* и возвращают получившийся ответ. Для простоты и эффективности вычислений используется библиотека символьных вычислений SymPy.

Хранение и управление числовыми рядами требует эффективной организации данных для обеспечения быстрого доступа и их обработки. Это необходимо для оперативного поиска готового дерева решений для уже посчитанного ряда, вместо повторного вычисления и предоставления его пользовательской стороне. Все взаимодействия с реляционным хранилищем данных происходят на основе MySQL. С помощью библиотеки *mysql-connector* реализуется подключение к базе данных и дальнейшая ее поддержка. Для организации хранилища данных выполнены следующие задачи: (1) создание базы данных; (2) реализация механизма добавления и обновления данных; (3) предоставление возможности повторного доступа к уже исследованному ряду без вычислений; (4) реализация добавления и хранения ряда на основе SymPy.

#### Графический интерфейс пользователя

Задача состояла в создании понятного и минималистичного графического интерфейса, позволяющего вводить пользователю общий член числового ряда в формате LaTeX без знания синтаксических правил ввода. Это реализовано с помощью браузерных событий и обработки строк ввода.

Для организации взаимодействия между графическим интерфейсом и вычислительным ядром были выполнены следующие подзадачи: (1) преобразование текста в формате LaTeX в строковый объект Python; (2) обработка и вывод результатов работы вычислительного ядра; (3) преобразование выражения Python в текст на LaTeX для

вывода промежуточных результатов; (4) организация сетевых fetch запросов для взаимодействия между клиентской и серверной частями.

Для реализации интерактивной части проекта реализован следующий процесс. После проверки корректности ввода исследуемого числового ряда применяется алгоритм для исследования ряда на сходимость. Таким образом, система имеет ответ на вопрос о сходимости ряда, а также хранит результаты выполнения всех блоков алгоритма, но эти результаты не доступны пользователю. Пользователю будут предложены наводящие вопросы, которые постепенно будут приближать его к получению ответа. Отвечая на вопросы, пользователь получает пошаговые вычисления, которые представляются в краткой математической форме. Также отображается небольшое теоретическое описание выполненного признака, что способствует лучшему запоминанию теоретического материала. В случае неудачного ответа система будет указывать пользователю, почему выбранный вариант ответа не подходит в данной ситуации.

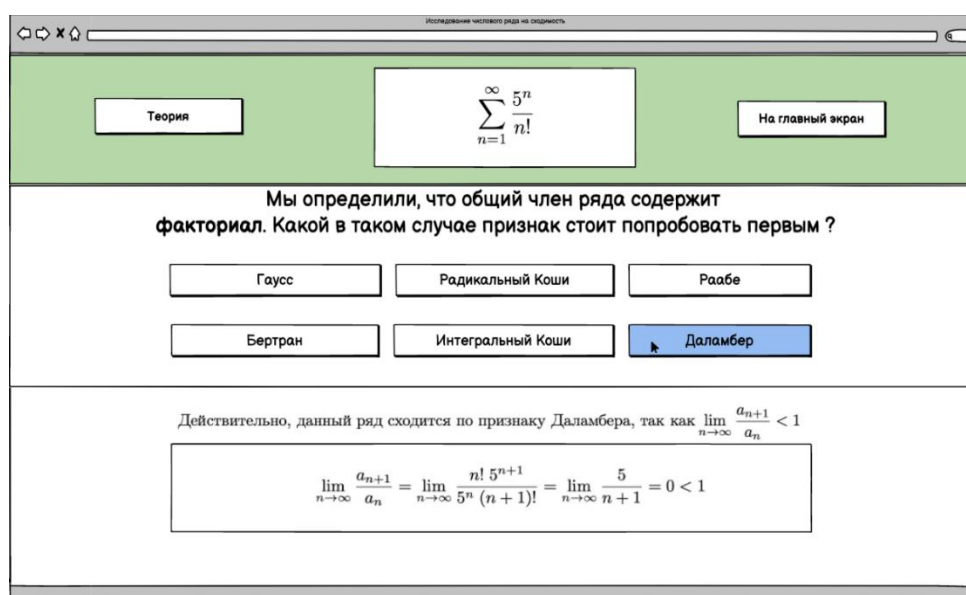


Рисунок 2. Интерфейс приложения

Разработанное веб-приложение обеспечивает все необходимые функции для исследования сходимости числового ряда, а также обеспечивает пользовательское взаимодействие, воссоздающее процесс обучения.

## Литература

1. Сахечидзе Я.Г. Проектирование интерактивного интерфейса электронного решебника по математическому анализу / Курсовая работа, Минск: ММФ БГУ, 2023.
2. Плисюк Г.С. Проектирование и разработка вычислительного ядра для электронного решебника по математическому анализу / Курсовая работа, Минск: ММФ БГУ, 2023.