

## **ЗАДАНИЕ**

## **КАЛЕНДАРНЫЙ ПЛАН**

## **АННОТАЦИЯ**

В настоящее время существует огромное количество образовательных ресурсов, посвященных тематике информационных технологий. Несмотря на это, на данный момент в открытом доступе не существует образовательных интернет-ресурсов, позволяющих тестировать работу устройств, описанных на языке Verilog (или каком-либо другом языке описания аппаратуры) непосредственно в рамках веб-приложения.

Настоящая квалификационная работа посвящена разработке программной подсистемы тестирования знаний языков описания аппаратуры, которая предоставляет возможности управления учебными материалами и автоматической проверки заданий (в том числе, заданий на описание аппаратных устройств на языке Verilog) в рамках информационной системы образовательного портала.

В исследовательской части работы проведен анализ существующих систем тестирования знаний с целью уточнения функциональных требований и определения вариантов использования разработанной подсистемы.

В конструкторской части работы спроектирована программная подсистема тестирования знаний языков описания аппаратуры, позволяющая управлять учебными материалами и заданиями, проводить автоматическую проверку решений пользователей (учащихся). Подсистема предназначена для интеграции в информационную систему образовательного портала.

В технологической части была разработана технология тестирования разработанной подсистемы, проведено ее функциональное и нагрузочное тестирование.

Процесс настройки и развертывания подсистемы описан в руководстве системного программиста.

## **ABSTRACT**

## РЕФЕРАТ

Расчетно-пояснительная записка X стр., 30 рис., 12 табл., 15 источников, 6 приложений.

ТЕСТИРОВАНИЕ ЗНАНИЙ, ЯЗЫК ОПИСАНИЯ АППАРАТУРЫ, HDL, VERILOG, СИСТЕМА ДИСТАНЦИОННОГО ОБУЧЕНИЯ, СДО, ОБРАЗОВАТЕЛЬНЫЙ ПОРТАЛ.

Объектом разработки является программная подсистема тестирования знаний языков описания аппаратуры.

Цель работы — разработать программную подсистему тестирования знаний языков описания аппаратуры, реализующую следующие функции:

- проверка правильности решения заданий пользователями (в т.ч. заданий на написание программного кода);
- анализ ошибок в пользовательских решениях;
- занесение результатов решения в БД статистики;
- анализ статистики решения заданий;
- добавление, удаление, редактирование образовательных материалов и заданий (для администратора).

В результате разработки была спроектирована и реализована программная подсистема тестирования знаний языков описания аппаратуры, разработана технология ее тестирования и проведено ее функциональное и нагрузочное тестирование.

# СОДЕРЖАНИЕ

ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ.....	8
ВВЕДЕНИЕ.....	9
1 Анализ систем тестирования знаний языков программирования .....	11
1.1 Классификация методов тестирования знаний.....	11
1.2 Методы тестирования знаний .....	12
1.2.1 Тестирование с ответом в закрытой форме.....	12
1.2.2 Тестирование с коротким ответом и ответом в форме эссе.....	14
1.2.3 Проверка программ по референсным значениям.....	16
1.2.4 Автоматизированное тестирование программ на проверяющей стороне.....	18
1.3 Функциональные требования и диаграмма вариантов использования подсистемы.....	19
1.4 Выводы .....	22
2 Проектирование программной подсистемы тестирования знаний языков описания аппаратуры.....	23
2.1 Проектирование архитектуры и бизнес-логики .....	23
2.2 Проектирование базы данных и структур данных .....	26
2.2.1 Разработка даталогической схемы БД .....	26
2.2.2 Описание структур данных для описания заданий и ответов .....	28
2.3 Проектирование микросервисов .....	30
2.3.1 Микросервис взаимодействия с БД.....	30
2.3.2 Синтезатор .....	35
2.3.3 Преобразователь формата временных диаграмм и генератор wavedrom-диаграмм .....	36
2.3.4 Микросервис анализа статистики.....	41
2.3.5 Анализатор решений.....	42
2.4 Выводы .....	43
3 Разработка технологии тестирования.....	44
3.1 Выбор подходов и методов тестирования.....	44
3.2 Разработка плана автономного тестирования.....	45
3.4 Выбор языка программирования и библиотек для функционального тестирования.....	52
3.5 Реализация и проведение функциональных тестов.....	53
3.6 Нагрузочное тестирование.....	58
3.7 Выводы .....	62
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	63
СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ.....	64
Приложение А.....	66
Техническое задание.....	66
Листов 10.....	66
Приложение Б.....	67
Руководство системного программиста.....	67
Листов 16.....	67

Приложение В.....	68
Графический материал.....	68
Листов 8.....	68
Приложение Г.....	69
Фрагмент кода программы.....	69
Листов 8.....	69
Приложение Д.....	70
Исходные коды на языке Verilog.....	70
Приложение Е.....	72
Временная диаграмма в формате VCD.....	72

## ОБОЗНАЧЕНИЯ И СОКРАЩЕНИЯ

В настоящей расчетно-пояснительной записке к ВКРБ применяются следующие обозначения и сокращения:

БД — база данных;

ПО — программное обеспечение;

СДО — система дистанционного обучения;

СУБД — система управления базами данных;

ТЗ — техническое задание;

API (Application Programming Interface) — интерфейс прикладного программирования;

C4 (Context Container Component Code) — контекст-контейнер-компонент-код;

CRUD (Create Read Update Delete) — создание-чтение-изменение-удаление;

GPL (General Public License) — универсальная общественная лицензия;

HTTP (HyperText Transfer Protocol) — протокол передачи гипертекста;

IDEF-0 (Integration Definition for Function Modeling) — Определение интеграции для функционального моделирования;

JSON (JavaScript Object Notation) — нотация объекта JavaScript;

VCD (Value Change Dump) — дамп изменения значения.



## ВВЕДЕНИЕ

Несмотря на наличие большого числа теоретических материалов, посвященных языкам описания аппаратуры, наблюдается дефицит и низкое качество организации ресурсов, ориентированных на их практическое освоение. Абсолютное большинство таких ресурсов ([marsohod.org](http://marsohod.org), [portal-ed.ru](http://portal-ed.ru), [asic-world.com](http://asic-world.com)) предоставляет лишь теоретические данные и набор практических упражнений, которые пользователю предлагается выполнить в стороннем программном обеспечении.

Такой подход может быть довольно сложен для новичка в силу описанных ниже проблем.

Первая проблема — установка стороннего программного обеспечения. Наиболее часто используемые для работы с языками описания аппаратуры среды: Quartus и Xilinx. Обе они требуют большого объема как постоянной, так и оперативной памяти. Кроме того, для приобретения начальных навыков функциональность этих сред избыточна, так как значительная ее часть ориентирована на адаптацию проекта под конкретную аппаратную базу для дальнейшей прошивки в программируемую логическую интегральную схему. Избыточная функциональность (с точки зрения рассматриваемой задачи) требует дополнительных вычислительных ресурсов и усложняет работу пользователя с этими средами.

Альтернативой Xilinx и Quartus являются такие инструменты, как Icarus Verilog. Это легковесная среда симуляции и синтеза устройств, описанных на языке Verilog. Взаимодействие с пользователем осуществляется через консольный интерфейс, результаты симуляции записываются в VCD-файл и затем отображаются графически через такие утилиты, как GTKWave. Основным недостатком в этом случае являются непривычный для новичка консольный интерфейс.

Вторая проблема — отсутствие внешнего контроля и системы оценивания. Безусловно, большинство людей в состоянии объективно оценить

правильность функционирования описанного ими устройства по временным диаграммам, полученным в результате запуска Testbench-файлов, прикрепленных к заданию. Однако, обучение на основе только таких заданий не позволяет закрепить теоретические знания, которые можно было бы проверить, например, тестовыми заданиями. Кроме того, такая система усложняет контроль человека за освоением курса в целом, утрачивается ощущение объективности оценки собственного прогресса, ухудшается качество обучения [1].

Стоит отметить, что полноценное освоение языков описания аппаратуры в принципе затруднительно без знаний в области цифровой схемотехники, архитектуры ЭВМ и т.п. Однако, цель образовательных платформ, посвященных этой тематике состоит прежде всего именно в формировании базовых знаний и навыков работы с языками описания аппаратуры для людей, интересующихся ими, например, в качестве хобби или с целью продолжить обучение в университете и т.п.

## **1 Анализ систем тестирования знаний языков программирования**

Работа, проведенная в рамках исследовательской части позволяет подойти к решению описанных во введении проблем посредством формирования функциональных требований и составления диаграммы вариантов использования подсистемы тестирования знаний языков описания аппаратуры, полученных на основе анализа имеющихся систем тестирования знаний языков программирования и методов тестирования знаний, используемых в этих системах.

### **1.1 Классификация методов тестирования знаний**

Перед моделированием бизнес-процессов, реализующих различные методы тестирования знаний, необходимо ввести их классификацию.

В качестве основы была взята подобная классификация для системы дистанционного обучения (далее — СДО) Moodle [2]. Она была дополнена с учетом функциональных особенностей таких СДО, как Huawei University, Coursera, Stepik, Ethernaut, а также хакатона Paradigm CTF [3]. Сформированная классификация приведена в таблице 1.

Таблица 1 — классификация методов тестирования знаний

<b>№</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>
1	Тестирование с ответом в закрытой форме	1.1 Выбор одного ответа 1.2 Выбор множественных ответов 1.3 Сопоставление
2	Тестирование с коротким ответом	2.1 С автоматизированной проверкой 2.2 С проверкой преподавателем 2.3 С перекрестной проверкой
3	Тестирование с ответом в форме эссе	3.1 С проверкой преподавателем 3.2 С перекрестной проверкой

## Продолжение таблицы 1

4	Тестирование на написание исходного кода	<p>4.1 С проверкой по референсным значениям</p> <p>4.2 Автоматизированное тестирование на проверяющей стороне</p> <p>4.3 Другие</p>
---	--	---

## 1.2 Методы тестирования знаний

### 1.2.1 Тестирование с ответом в закрытой форме

Тестирование с ответом в закрытой форме применяется практически во всех системах тестирования знаний. IDEF0-модель соответствующего бизнес-процесса представлена на рисунке 1.

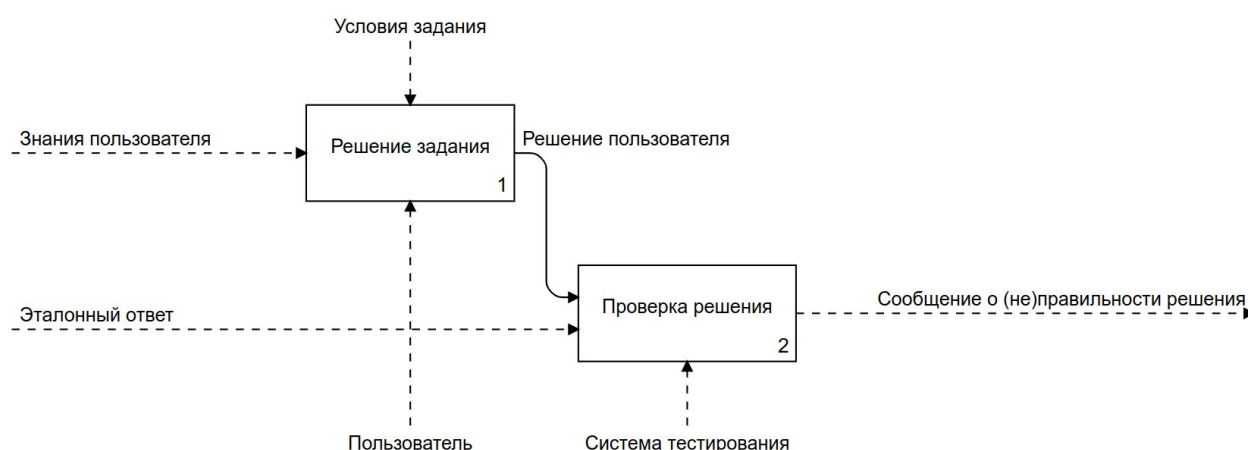


Рисунок 1 — бизнес-процесс тестирования с ответом в закрытой форме

Основным недостатком такой реализации тестирования с ответом в закрытой форме является невозможность получить содержательную обратную связь в случае неверного решения. Возможные формы обратной связи для различных подтипов заданий с закрытым ответом показаны в таблице 2.

Таблица 2 — формы обратной связи для тестирования с ответом в закрытой форме

<b>Подтип тестирования</b>	<b>Форма обратной связи</b>
Выбор одного ответа	Пояснение причин некорректности ответа
Выбор множественных ответов	Сообщение о выборе избыточного/недостаточного числа вариантов
Сопоставление	Сообщение о количестве неправильно выбранных пар
	Подсветка некорректно выбранных пар

В случае заданий на выбор множественных ответов сообщение о выборе избыточного/недостаточного числа вариантов неинформативно и не позволяет пользователю повторно проанализировать задание с его учетом. При этом такой вид обратной связи позволяет пользователю сократить число вариантов для перебора ответов при повторном решении задания. По этим причинам использование обратной связи в заданиях этого подтипа не всегда желательно.

В случае заданий на сопоставление сообщение о количестве неправильно выбранных пар менее информативно, но не сокращает число вариантов перебора ответа. Подсветка некорректно выбранных пар содержит полезную для повторного анализа задания информацию, но сокращает число вариантов перебора ответа.

Еще одной проблемой тестирования с ответом в закрытой форме, уже затронутой выше, является проблема перебора ответов. Данная проблема не возникает в случае проведения контрольных мероприятий, где количество попыток прохождения тестирования ограничено. Однако, в случае открытых онлайн-курсов, число попыток прохождения тестирования, как правило, не

ограничивается. В таком случае одним из решений проблемы является ограничение времени до возможности повторно пройти тестирование.

Бизнес-процесс прохождения тестирования с ответом в закрытой форме с учетом предложенных улучшений представлен на рисунке 2.

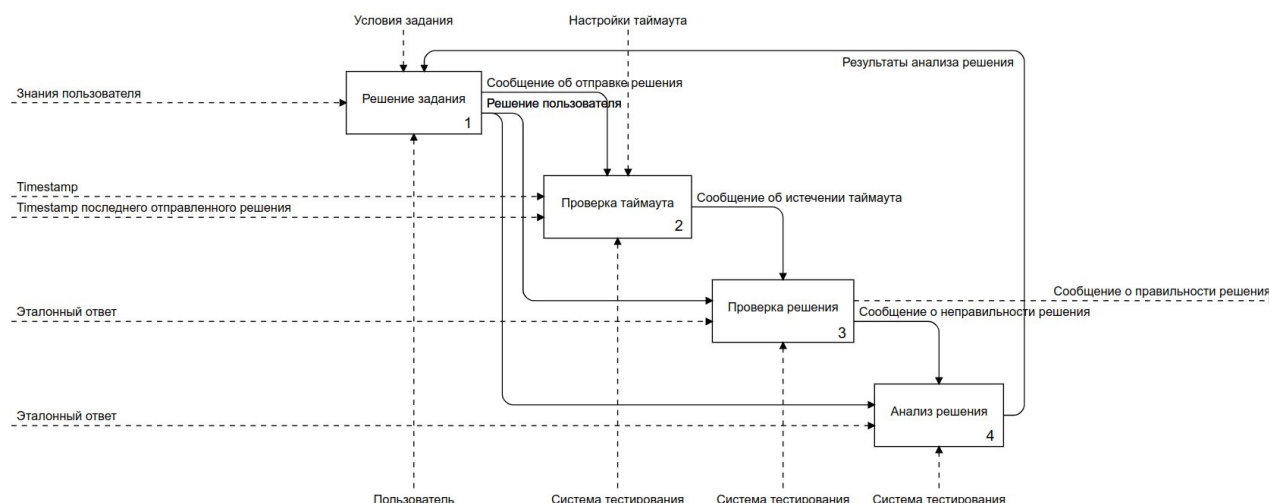


Рисунок 2 — усовершенствованный бизнес-процесс тестирования

### 1.2.2 Тестирование с коротким ответом и ответом в форме эссе

Тестирование с коротким ответом может быть проверено автоматически, преподавателем или участниками тестирования перекрестно. Автоматизированная проверка зачастую не учитывает все возможные формы слова, синонимы, грамматические ошибки в ответе и т.п. Однако, она не требует вовлечения преподавателя или перекрестной оценки, которая может быть субъективной в силу тех или иных причин. Поэтому, в случае открытых онлайн-курсов, ориентированных на большое число участников, как правило используется автоматизированная проверка таких вопросов. В случае же каких-либо контрольных мероприятий в рамках, например, СДО университета, рекомендуется использовать проверку ответов преподавателем, чтобы избавиться от технических ошибок при проверке задания в автоматизированном режиме.

Кроме того, стоит отметить, что данный тип тестирования, используемый, например, для проверки решения задач по математике, не

позволяет предоставить пользователю информативную обратную связь о его ошибках.

Тестирование в форме эссе применяется как правило для контрольных мероприятий в рамках СДО университета и т.п. В этом случае задание проверяется преподавателем. В открытых онлайн-курсах такие задания как правило не применяются, так как преподавательского ресурса недостаточно для проверки заданий всех пользователей, число которых может быть очень велико. В редких случаях, когда использование такой формы тестирования все же необходимо (например, из-за гуманитарной тематики курса или при отсутствии технической возможности проверить задачу на программирование), прибегают к системе перекрестной проверки. В таком случае требования к ответу стараются максимально формализовать, чтобы пользователи могли более объективно оценить друг друга. При перекрестном тестировании в качестве итоговой оценки, как правило, выставляется среднее или медианное значение результатов нескольких проверок [4].

Пример интерфейса проверки задания с перекрестным оцениванием на платформе Stepik приведен на рисунке 3.

The screenshot displays the 'Рецензия' (Review) interface on the Stepik platform. It is divided into two main sections: a task description on the left and a review criteria section on the right.

**Left Section (Task Description):**

- Шаг:** PyTest — параметризация, конфигурирование, плагины Шаг 9
- Решение:** #787527998, 23 октября 2022 г., 22:04, верно
- Условие:** (with a 'Развернуть' button)
- Решение #787527998:** Includes a note 'Не забудьте отправить ваше решение на рецензирование.' and a text box containing the URL 'https://github.com/ekaterinatest/stepik\_auto\_tests\_course2.git'.

**Right Section (Review Criteria):**

- Критерий 1:** 'Тест в репозитории можно запустить командой `pytest --language=es`, тест успешно проходит.' Below it is a rating scale from 0 to 1 and a text box for 'Развернутое объяснение вашей оценки'.
- Критерий 2:** 'Проверка работоспособности кода для разных языков. Добавьте в файл с тестом команду `time.sleep(30)` сразу после открытия ссылки. Запустите тест с параметром `--language=fr` и визуально проверьте, что фраза на кнопке добавления в корзину выглядит так: "Ajouter au panier".' Below it is a note: 'Не снижайте баллы за отсутствие `time.sleep(30)`, предполагается, что вы его добавите самостоятельно.'

Рисунок 3 — интерфейс проверки задания с перекрестным оцениванием на платформе Stepik

### 1.2.3 Проверка программ по референсным значениям

Зачастую, так как разработчики онлайн-портала не обладают достаточными ресурсами для создания подсистемы автоматизированного тестирования пользовательских программ, либо сама архитектура проверяемой программы не позволяет протестировать ее автоматически по техническим причинам (например, сама программа пользователя связана с тематикой автоматизированного тестирования, программа связана с машинным обучением и потребляет много вычислительных ресурсов и т.д.)

Пример таких заданий приведены на рисунках 4 и 5.

На Землю нападают войска жукеров, и в их флоте присутствуют транспортники, истребители и крейсеры. Для борьбы с каждым типом кораблей используется свой вид оружия. Как аналитику из Штаба Оборона, вам поручено разработать модель, предсказывающую какие корабли участвуют в атаке, чтобы успешно отбить нападения на различные области планеты

Данных удалось собрать немного, и предсказывать придётся гораздо больший по объёму массив.

Обучите модель и предскажите классы кораблей для [новых поступающих данных](#). Укажите в ответе через пробел число крейсеров, транспортников и истребителей.

От вашего ответа зависит судьба человечества!

Верно решили **5 882** учащихся  
Из всех попыток **59%** верных

**Напишите текст**

Напишите ваш ответ здесь...

3 балла за решение.

Отправить

Рисунок 4 — проверка задания на машинное обучение по референсным значениям



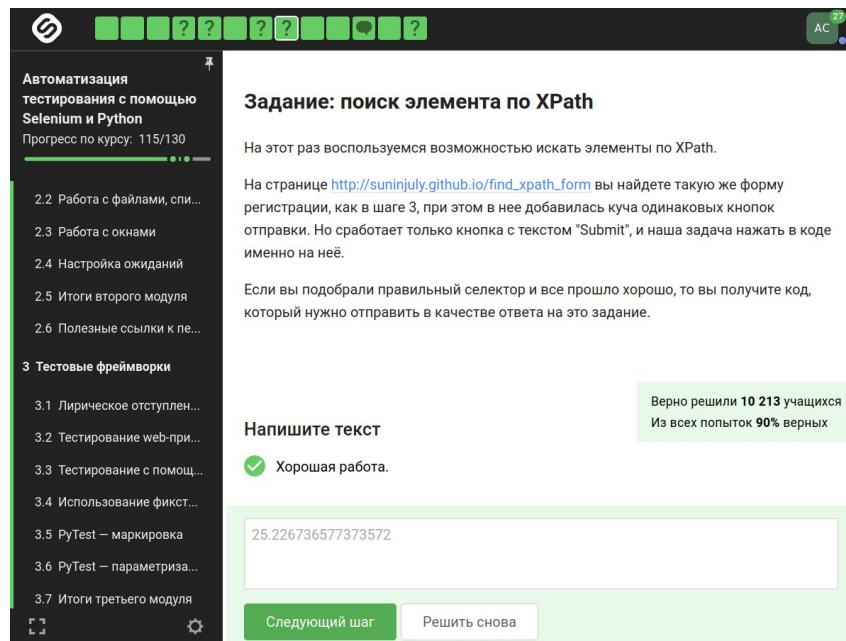


Рисунок 5 — проверка задания на автоматизированное тестирование по референсным значениям

Бизнес-процесс прохождения тестирования на написание программы с проверкой по референсным значениям приведен на рисунке 6.



Рисунок 6 — бизнес-процесс прохождения тестирования на написание программы с проверкой по референсным

При анализе представленного бизнес-процесса становятся очевидны ряд очевидных недостатков такого типа тестирования.

Первым недостатком является отсутствие информативной обратной связи, которое затрудняет пользователю поиск семантических ошибок в логике программы.

Вторым недостатком является необходимость установки дополнительного программного обеспечения (текстового редактора и компилятора, либо среды разработки) со стороны пользователя. Это не только повышает входной порог, но и лишает пользователя возможности проходить обучение и тестирование без своего компьютера (например, с мобильного устройства в общественном транспорте, во время командировки или путешествия).

Третьим недостатком является необходимость составления таких заданий и подбор таких входных данных, результаты которых достаточно сложно или невозможно рассчитать без написания требуемой программы. Зачастую, этот процесс может быть затруднительным и в итоге потребует от пользователя написания более сложной программы, чем в случае если бы задание было нацелено исключительно на формирование и проверку целевого навыка.

#### 1.2.4 Автоматизированное тестирование программ на проверяющей стороне

Наиболее каноничным способом проверки заданий по программированию является автоматизированное тестирование на проверяющей стороне. Бизнес-процесс прохождения тестирования на написание программы с автоматизированной проверкой показан на рисунке 7.

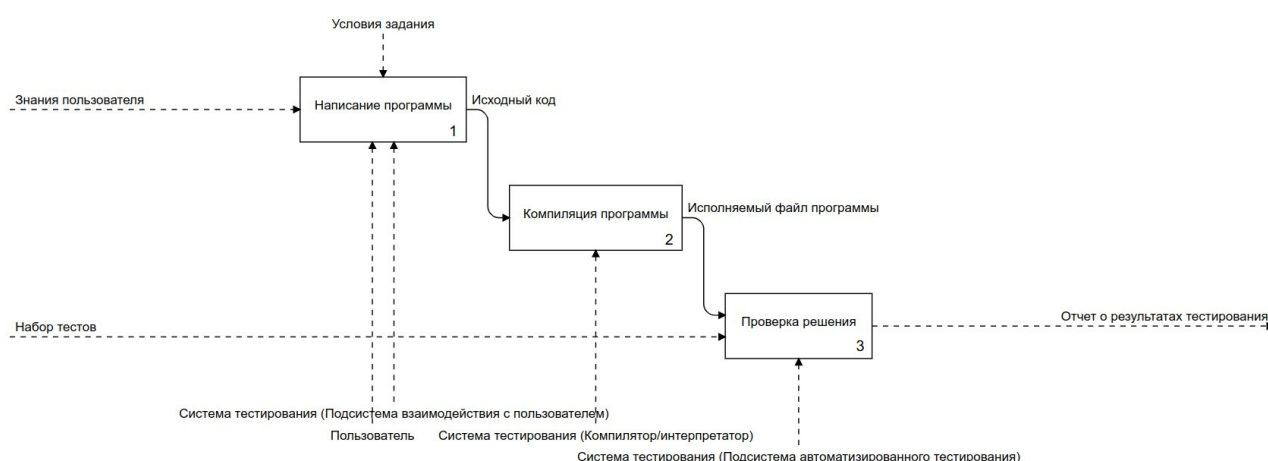


Рисунок 7 — бизнес-процесс прохождения тестирования на написание программы с автоматизированной проверкой

Положительными сторонами такого подхода к проверке заданий на программирования являются [5]:

- объективность оценки (оцениваемые программы проходят через одинаковый набор тестов или эквивалентные между собой наборы тестов);
- скорость оценки;
- наглядность оценки (хотя процесс тестирования проходит в режиме черного ящика, результат тестирования, при должной подготовки системы автоматизированного и самих тестов, нагляден и способен в некоторой степени оповестить об ошибках в тестируемых приложениях);
- возможность применения для большого числа пользователей.

Основным недостатком такого подхода является сложность его реализации.

### **1.3 Функциональные требования и диаграмма вариантов использования подсистемы**

Из проанализированных методов тестирования и оценивания знаний знаний были выделены наиболее подходящие для использования в подсистеме тестирования знаний языков описания аппаратуры (таблица 3).

Таблица 3 — методы тестирования знаний в проектируемой системе

<b>№</b>	<b>Тип</b>	<b>Подтип</b>	<b>Особенности</b>
1	Тестирование с ответом в закрытой форме	1.1 Выбор одного ответа 1.2 Выбор множественных ответов 1.3 Сопоставление	Имеется проверка таймаута и обратная связь в виде результатов анализа ответа (рисунок 2).

Продолжение таблицы 3

2	Тестирование с коротким ответом	2.1 С автоматизированной проверкой	Система тестирования должна иметь словарь с различными формами и синонимами искомого слова (в случае, если подразумевается словесный, а не численный ответ).
3	Тестирование на написание исходного кода	3.1 Автоматизированное тестирование на проверяющей стороне	Система тестирования должна учитывать специфику языков описания аппаратуры и уметь анализировать и строить временные диаграммы на основе VCD-файлов (рисунок 7).

На основе результатов проведенного анализа было заключено, что проектируемая подсистема должна выполнять следующие функции:

- изменение заданий модератором;
- отображение персональной статистики учащегося;
- обработка статистики решения заданий;
- формирование рейтингового списка учащихся;
- автоматизированная проверка тестов с закрытым ответом, кратким ответом и ответом в виде исходного кода;
- формирование информативной обратной связи в случае неверного решения задания учащимся;
- формирование временных диаграмм работы устройств.

На основе результатов проведенного анализа и сформулированных функциональных требований была разработана диаграмма вариантов использования подсистемы тестирования знаний языков описания аппаратуры, представленная на рисунке 8 [6].



Рисунок 8 — диаграмма вариантов использования подсистемы тестирования знаний языков описания аппаратуры

Полученная диаграмма вариантов использования предусматривает 3 базовых варианта использования: прохождение курса, просмотр статистики, работа с содержанием курса.

Работа с учетными данными пользователей, отрисовка пользовательского интерфейса и другие стандартные функции реализуются вне рамок проектируемой подсистемы.

## **1.4 Выводы**

В исследовательской части проведен анализ функциональных возможностей существующих платформ обучения языкам программирования, получены и доработаны модели их бизнес-процессов, на их основе сформулированы функциональные требования и диаграмма вариантов использования подсистемы тестирования знаний языков описания аппаратуры.

Основными отличиями такой подсистемы от аналогов являются:

- реализация модуля автоматизированного тестирования на основе временных диаграмм, описываемых VCD-файлами;
- учет статистики прохождения заданий;
- информативная обратная связь об ошибках учащегося;
- формирование рейтинга учащихся.

## 2 Проектирование программной подсистемы тестирования знаний языков описания аппаратуры

### 2.1 Проектирование архитектуры и бизнес-логики

Разработанная подсистема используется веб-приложением образовательного портала для управления учебными материалами, проверки пользовательских ответов на задания и работы со статистикой решения заданий.

Поскольку, информация о пользователях используется как в разработанной подсистеме, так и в других компонентах программного обеспечения образовательного портала, БД используется совместно.

Обобщенная архитектура информационной системы показана с помощью контекст-диаграммы в нотации С4 на рисунке 9 [7].

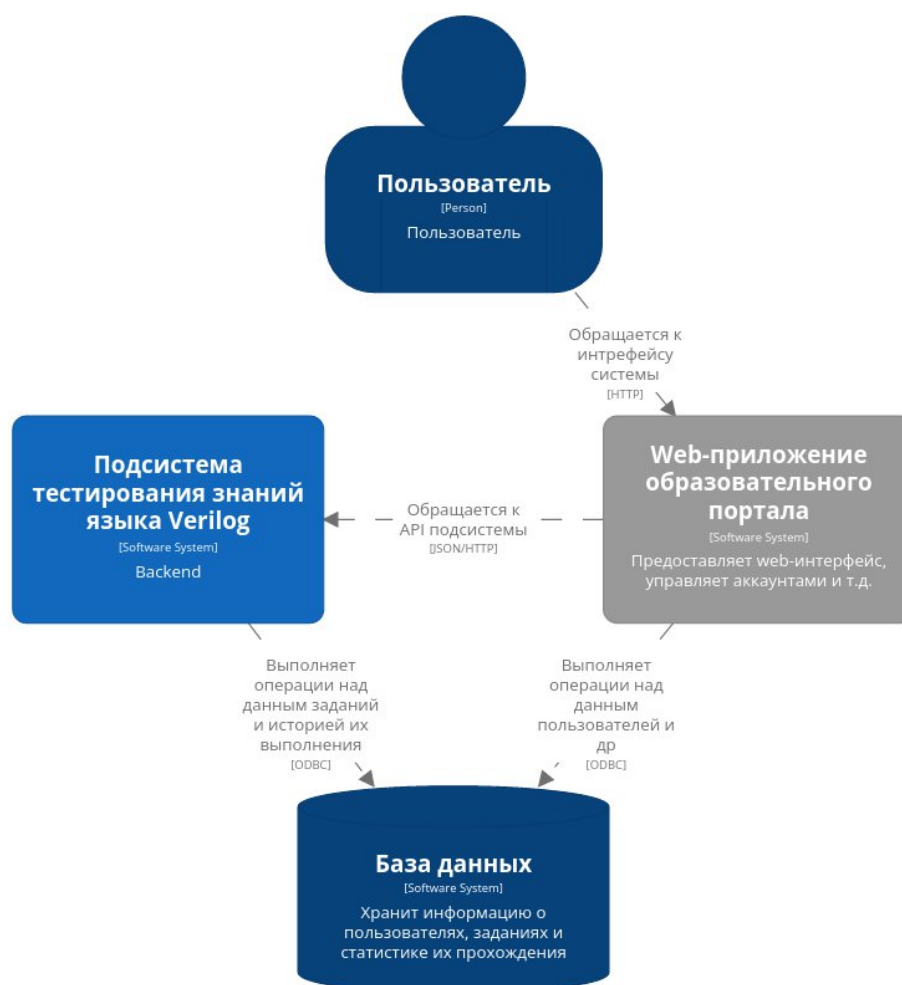


Рисунок 9 — обобщенная архитектура информационной системы

На основе функциональных требований, предъявляемых к разработанной подсистеме и представленной в главе 1 диаграммы вариантов использования была разработана структура компонентов, отвечающих за их реализацию:

- микросервис взаимодействия с БД — реализует CRUD-операции над данными в БД;
- анализатор — выполняет проверку и анализ пользовательских решений;
- синтезатор (симулятор, компилятор) — выполняет синтез устройств из Verilog-кода и симулирует их работу;
- преобразователи форматов временных диаграмм — преобразуют временные диаграммы в удобные для хранения и обработки форматы;
- микросервис анализа статистики;
- компонент бизнес-логики — реализует бизнес-логику подсистемы, связывает остальные микросервисы.

Детализированная архитектура разработанной подсистемы показана на контейнер-диаграмме (нотация C4) на рисунке 10.

Наиболее сложные варианты использования, иллюстрирующие взаимодействие показанных компонентов — «работа с содержанием курса» и «решение задания на написание Verilog-кода». Диаграммы последовательности действий для этих вариантов использования приведены в приложении Г.



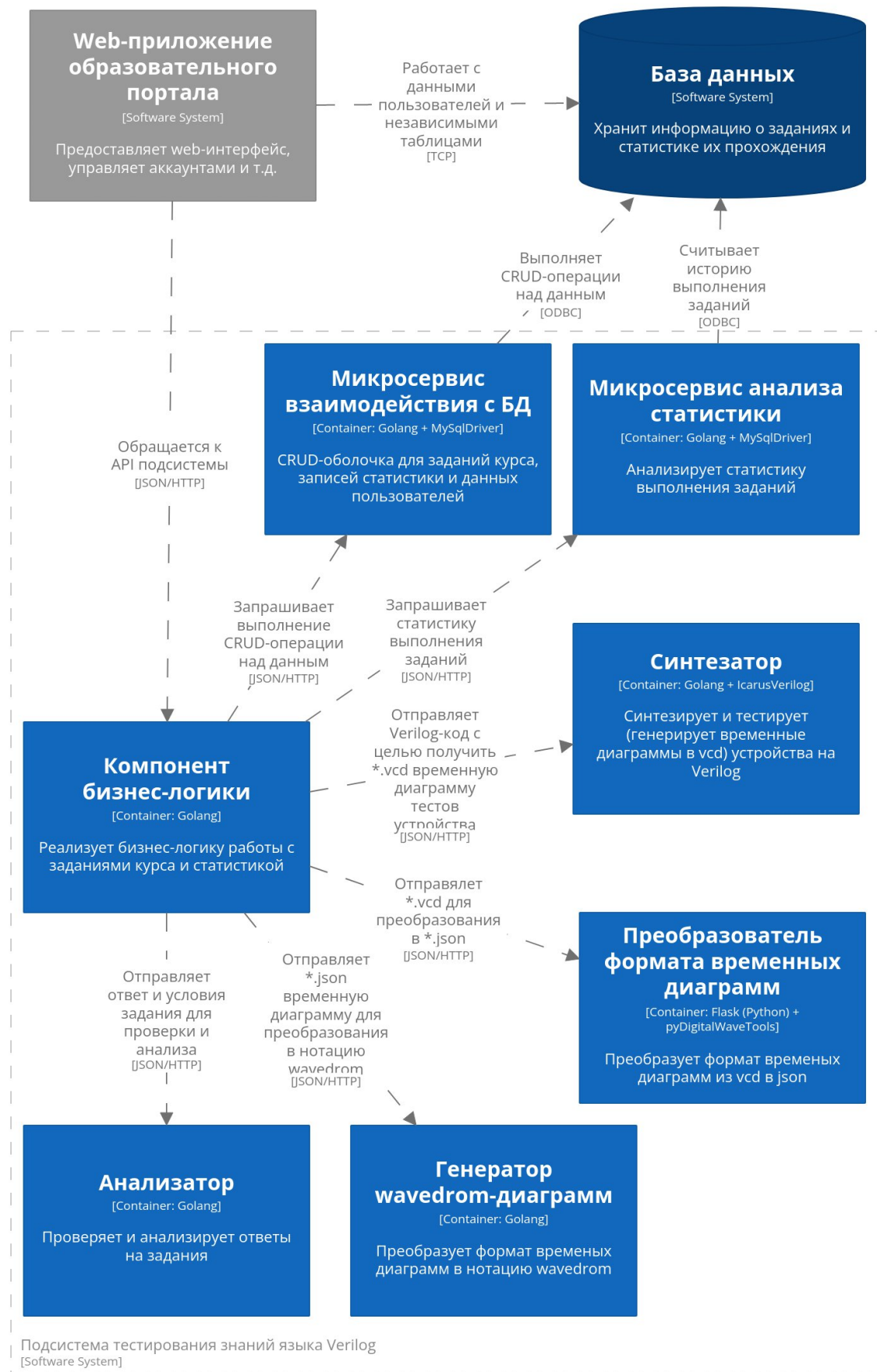


Рисунок 10 — детализированная архитектура разработанной подсистемы

## 2.2 Проектирование базы данных и структур данных

### 2.2.1 Разработка даталогической схемы БД

В результате анализа предметной области удалось выделить описанные ниже сущности.

Сущность «Задание» — содержит информацию о порядковом номере задания, его условиях, правильном ответе, цене в баллах и т.п.;

Сущность «Пользователь» — позволяет идентифицировать пользователя по ID, узнать, обладает ли пользователь правами администратора и узнать его псевдоним (т.н. «никнейм»). Кроме того, эта сущность может нести в себе дополнительную информацию, необходимую веб-приложению образовательного портала.

Сущность «Попытка решения» — содержит информацию, об успешности и времени каждой попытки решения задания каким-либо пользователем.

Для реализации базы данных была выбрана реляционная СУБД MySQL, для ускорения работы SQL-запросов, анализирующих статистику прохождения заданий или выдающих другую агрегированную информацию по курсу, было решено разделить сущность «Задание» на «Брифинг задания» и «Данные задания», а так же выделить отдельную сущность «Тип задания».

Для кратких текстовых полей, таких, как «Название задания» используется тип var, а для длинных — TEXT. Логические значения сохраняются в tinyint(1).

Полученная даталогическая схема БД в нотации Мартина изображена на рисунке 11.

Ниже представлено подробное описание приведенных таблиц и их полей.

Таблица Users (пользователи):

- id — первичный ключ;
- nickname — псевдоним;
- is\_admin — признак администратора.

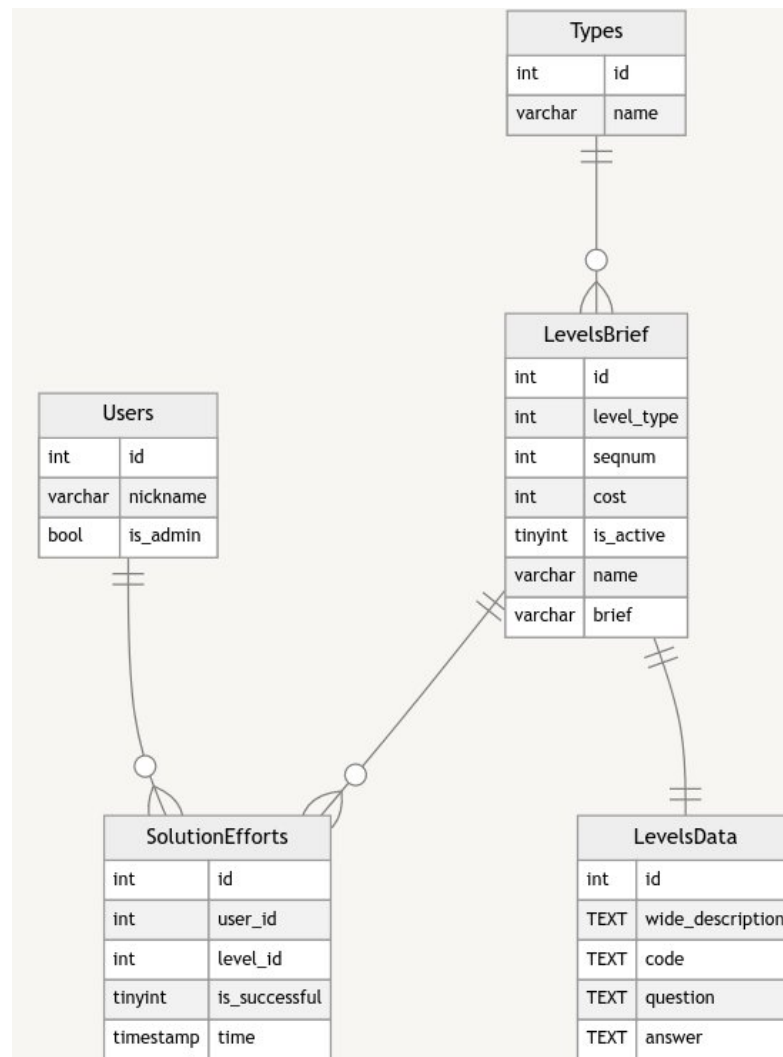


Рисунок 11 — даталогическая схема БД

Таблица LevelsBrief (краткая информация о заданиях):

- id — первичный ключ;
- level\_type — тип задания;
- seqnum — порядковый номер задания в списке (может повторяться у «заархивированных» заданий);
- cost — количество баллов, начисляемых за решение задания;
- is\_active — признак активности задания (если is\_active = 0, задание считается «заархивированным»);
- name — название задания;
- brief — краткое описание задания.

Таблица LevelsData (подробная информация о заданиях):

- id — первичный ключ, совпадает с id задания в LevelsBrief;

- wide\_description — развернутое описание задания;
- code — листинг исходного кода на Verilog, который может быть приложен к заданию;
- question — закодированные условия задания;
- answer — закодированный ответ на задание.

Таблица Types (типы заданий):

- id — первичный ключ;
- name — название типа задания.

Таблица SolutionEfforts (попытки решения заданий):

- id — первичный ключ;
- user\_id — id пользователя;
- level\_id — id задания;
- is\_succesful — признак успешного прохождения задания;
- time — дата и время прохождения задания.

### **2.2.2 Описание структур данных для описания заданий и ответов**

Так, как в разрабатываемой подсистеме используются задания различных типов, которые необходимо проверять автоматически, было решено хранить информацию об условиях и ответах на каждое задание в закодированном виде в одном поле БД (это позволило использовать реляционную модель, позволяющую, например, удобным образом анализировать статистику выполнения заданий).

Разработанная подсистема поддерживает работу с тремя типами заданий:

- тесты с выбором одного варианта ответа;
- тесты с множественным выбором;
- задания на описание устройства на Verilog.

Все задания и ответы сохраняются в нотации JSON.

Условия задания с выбором одного ответа содержат заголовок задания (caption) и массив ответов (answers), в котором каждый ответ имеет поля с

текстом варианта ответа (text) и подсказкой, которая будет показана пользователю, если ответ неверен (hint).

Формат описания задания с выбором одного ответа приведен на рисунке 12.

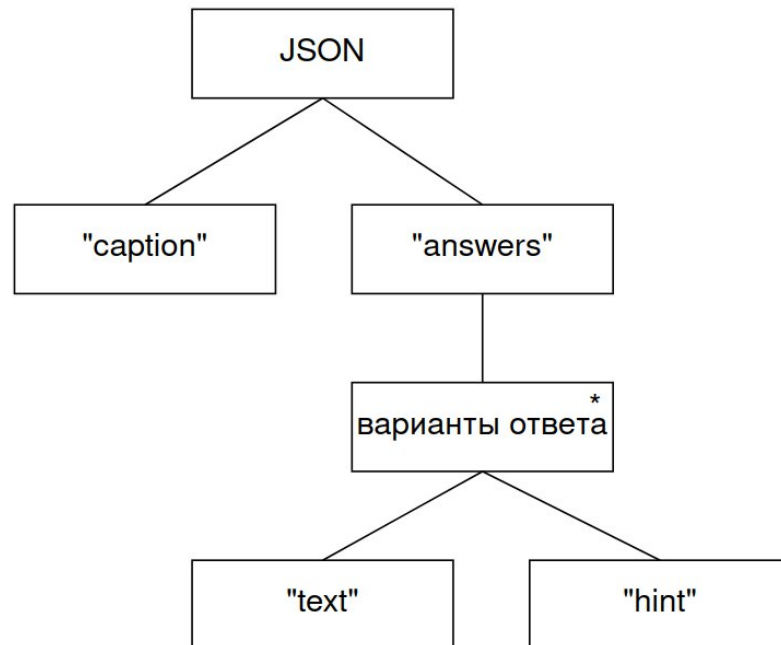


Рисунок 12 — формат описания задания с выбором одного ответа  
Пример описания задания с одним ответом приведен в листинге 1.

Листинг 1 — пример описания задания с одним ответом

```
// условия задания с выбором одного варианта ответа

{
  "caption": "Основная функция сумматора",
  "answers": [
    {"text": "Умножение", "hint": "Название говорит само за себя"},
    {"text": "Вычитание", "hint": "Перечитай главу"},
    {"text": "Сложение", "hint": "Все верно"}
  ]
}

// ответ на задание с выбором одного варианта ответа

{"correct_answer_id":2}
```

Условия задания с выбором нескольких вариантов ответа хранятся в аналогичном формате, но в них отсутствует поле hint.

Примеры записи условия для заданий с множественным выбором приведен в листинге 2.

Листинг 2 — пример описания задания с множественным выбором

```
// условия задания с выбором нескольких вариантов ответа

{
  "caption": "Типы переменных в verilog",
  "answers": [
    "reg",
    "wire",
    "mem"
  ]
}

// ответ на задание с выбором нескольких вариантов ответа

{
  "correct_answers": [
    true,
    true,
    false
  ]
}
```

В случае задания на описание устройства с помощью языка Verilog, в поле LevelsData.question заносится код теста устройства на языке Verilog (т.н. «testbench», см. приложение Д), а в поле LevelsData.answer — описание временной диаграммы корректно описанного устройства в формате wavedrom (см. раздел «Генератор wavedrom-диаграмм»).

## 2.3 Проектирование микросервисов

### 2.3.1 Микросервис взаимодействия с БД

Для реализации CRUD-операций с данным, хранящимися в БД, был реализован микросервис взаимодействия с БД.

Логика работы с каждой из таблиц базы данных инкапсулирована в отдельный класс, каждый из таких классов работает с БД через класс соединения с БД, который в свою очередь использует драйвер СУБД MySQL (рисунок 13).

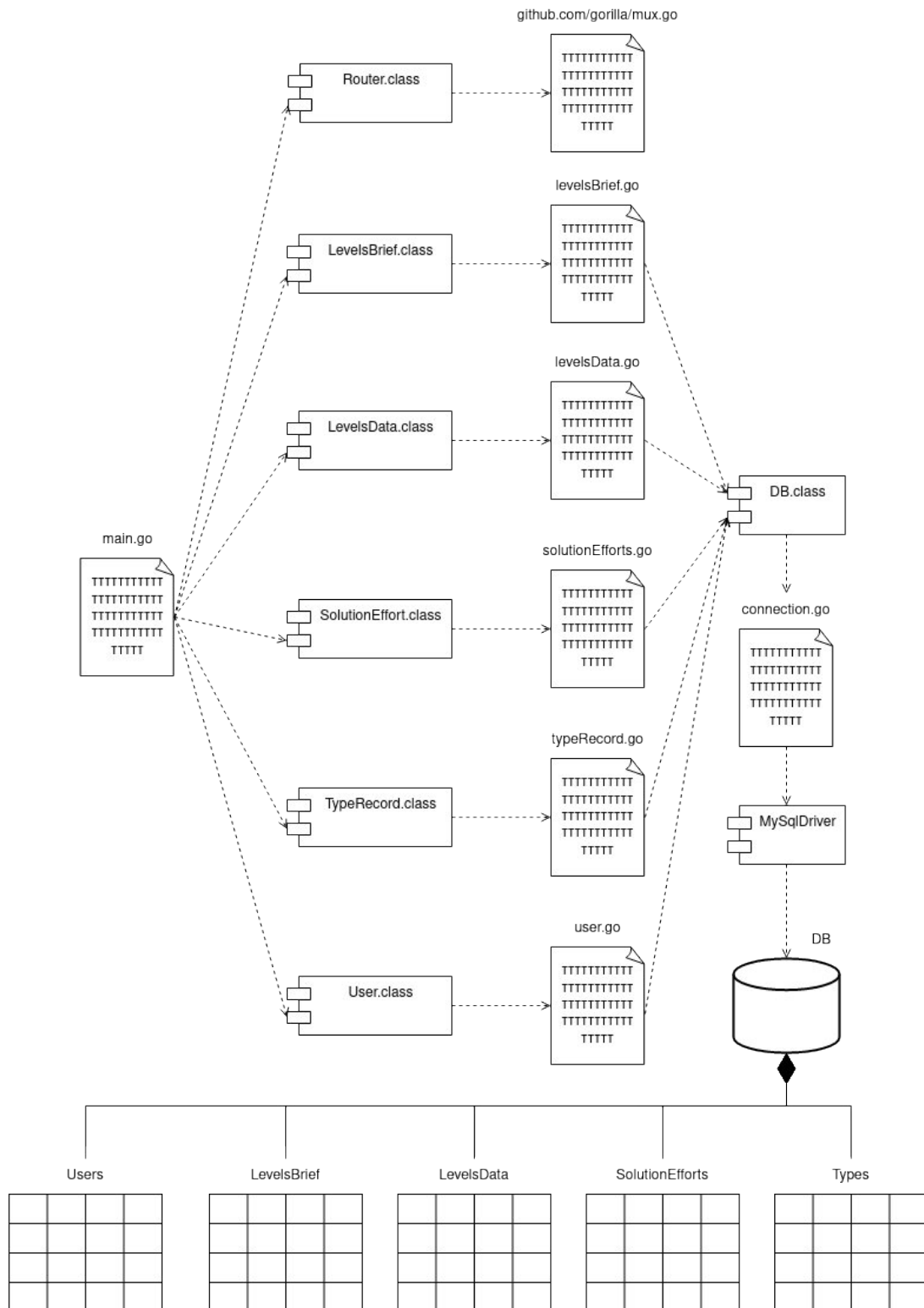


Рисунок 13 — диаграмма компоновки микросервиса взаимодействия с БД

На рисунке 14 представлена диаграмма классов описываемого микросервиса.

Классы `LevelsBrief`, `LevelsData`, `SolutionEffort`, `TypeRecord` и `User` реализуют взаимодействие с БД и воплощают в себе сущности предметной области.

Класс `MetaInfo` содержит поля `ObjType` (сущность, над которой выполняется операция) и `Action` (тип операции).

Классы с префиксом «Rf» (сокращение от «Request Frame») позволяют разобрать входные сообщения, разделив метаинформацию и данные о сущности предметной области.

Интерфейсы `IReadable`, `IUpdatable` и т.п. позволяют взаимодействовать с любым типом сущностей по одному и тому же алгоритму [8].

Использование типа `interface` для `ResponseFrame.Data` (данные ответного сообщения) так же позволяет записывать в это поле данные об объекте любого класса.

Примечание: любой класс в `Golang` является реализацией `interface`, однако не все отношения реализации показаны на диаграмме классов с целью ее упрощения.



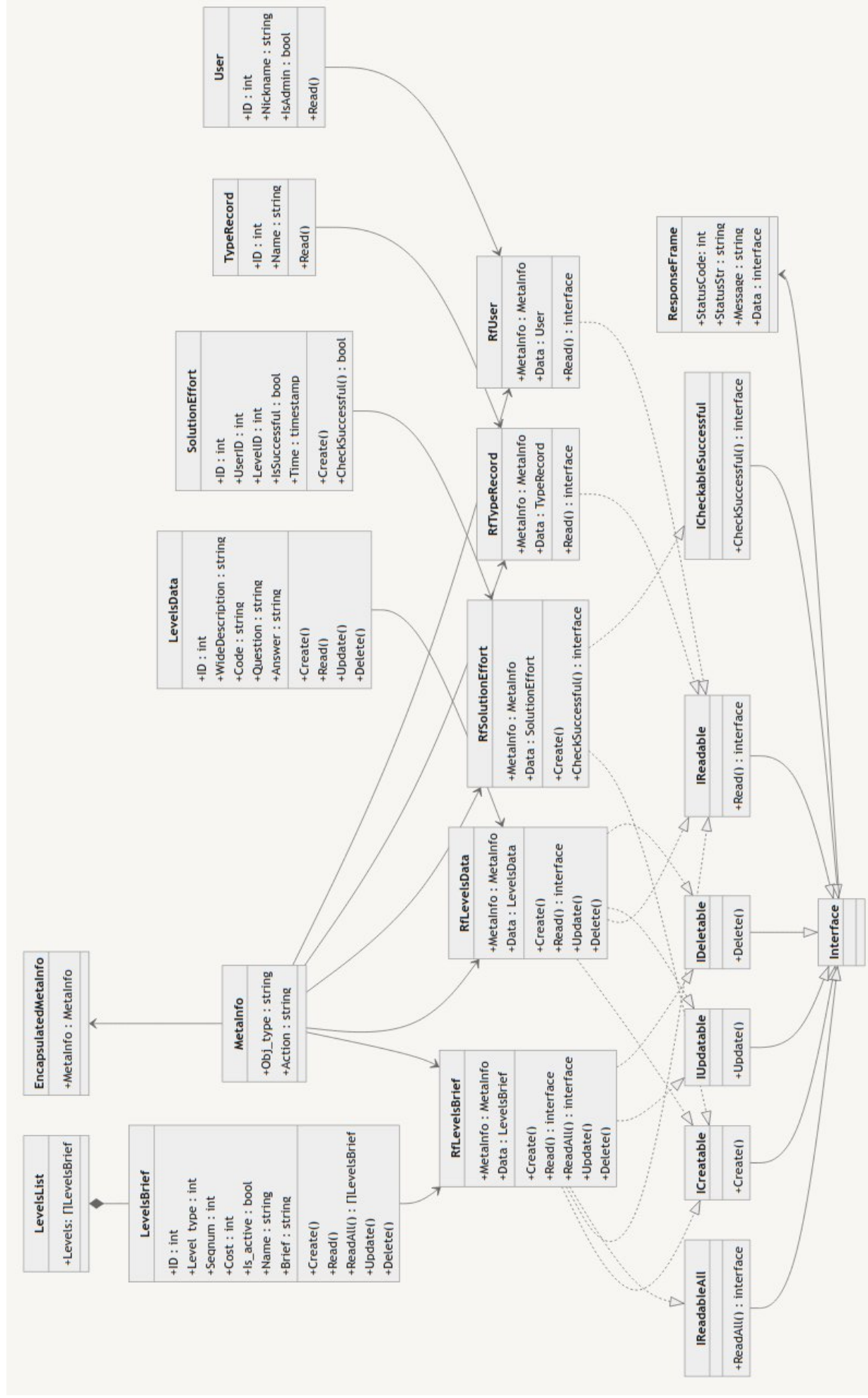


Рисунок 14 — диаграмма классов для работы с БД

Фрагмент программного кода, иллюстрирующий работу с интерфейсами приведен в листинге 3.

Листинг 3 — фрагмент программного кода микросервиса взаимодействия с БД.

```
var reqFrame EncapsulatedMetaInfo
// преобразование тела HTTP-запроса в объект класса EncapsulatedMetaInfo:
err = json.Unmarshal(reqBody, &reqFrame)
if err != nil {
    /* обработка ошибок */
}

var data interface{} // создание объекта базового класса
// выбор класса, к которому произойдет обращение
if reqFrame.MetaInfo.ObjType == "levels_brief" {
    data = &RfLevelsBrief{} // присвоение ссылки на пустой экземпляр класса
} else if reqFrame.MetaInfo.ObjType == "levels_data" {
    data = &RfLevelsData{}
} else if
    /* ... */
} else {
    panic("Unknown Obj Type")
}

// преобразование тела HTTP-запроса в объект выбранного класса
err = json.Unmarshal(reqBody, data)
if err != nil {
    /* обработка ошибок */
}
if reqFrame.MetaInfo.Action == "create" {
    data.(ICreatable).Create() // обращение к методу класса через интерфейс
} else if reqFrame.MetaInfo.Action == "read" {
    // обращение к методу класса через интерфейс и запись данных в поле типа interface
    response.Data = data.(IReadable).Read()
} else if
    /* ... */
} else {
    panic("Unknown Action")
}
```

### 2.3.2 Синтезатор

Для симуляции (получения временных диаграмм работы) и синтеза (получения списка электрических соединений) устройств, описанных на языке Verilog используют специальное программное обеспечение, которое может называться «симулятором», «синтезатором» или «компилятором» (последний термин менее точен, но более интуитивно понятен).

Одним из таких синтезаторов является IcarusVerilog. Достоинствами данного программного решения являются:

- малый размер исполняемого файла;
- наличие консольного режима работы (удобно вызывать из программного кода через библиотеки для работы с операционной системой);
- распространение по свободной лицензии (GNU GPL).

В силу перечисленных выше свойств, IcarusVerilog был выбран в качестве синтезатора, используемого в данной работе.

Выбранный синтезатор был использован в составе микросервиса, осуществляющего управление файлами и взаимодействие с сетью.

Обработка каждого задания осуществляется в несколько этапов, за каждый из которых отвечает свой программный компонент:

- получение http-запроса на симуляцию устройства (класс Router);
- сохранение полученных исходных кодов устройства и теста в файловой системе (OsLib, наличие user\_id и level\_id позволяет значительно снизить риск коллизии файлов);
- получение временной диаграммы работы устройства (в формате \*.vcd) с помощью IcarusVerilog;
- отправка http-ответа, содержащего код временной диаграммы.

Диаграмма компоновки микросервиса показана на рисунке 15.

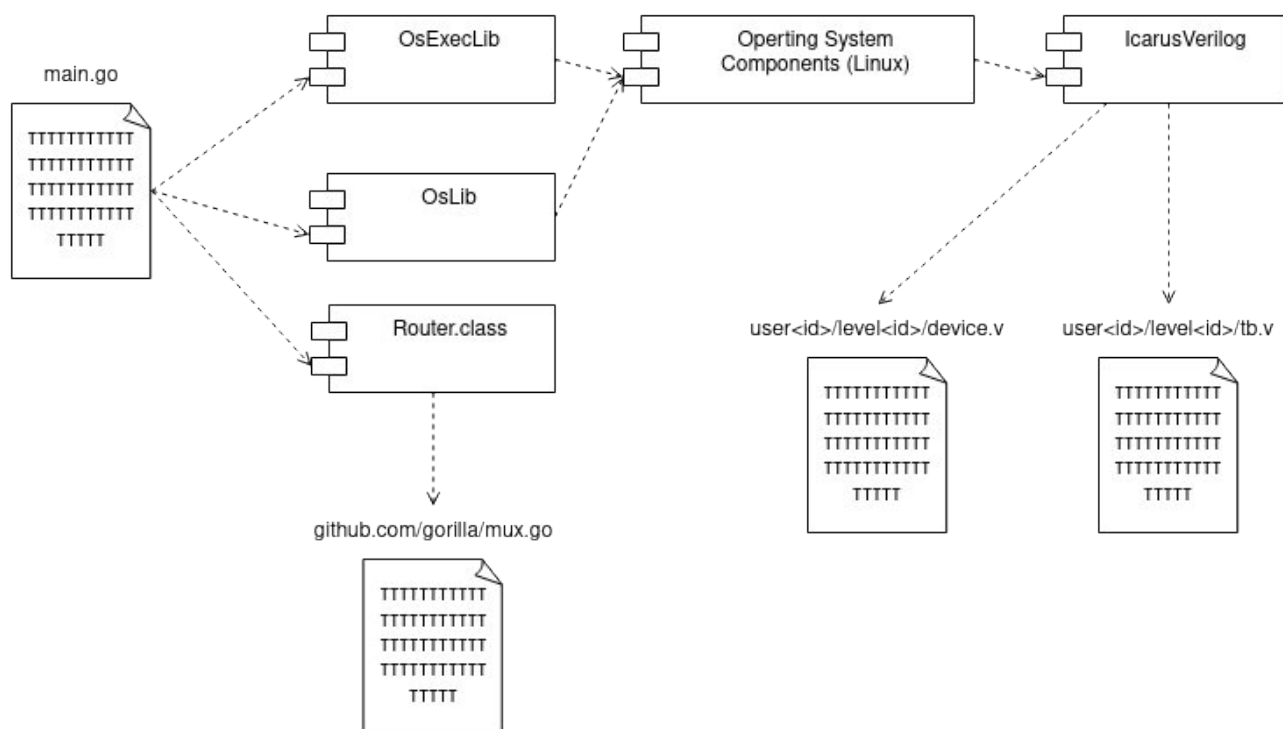


Рисунок 15 — диаграмма компоновки микросервиса «Синтезатор»

### 2.3.3 Преобразователь формата временных диаграмм и генератор wavedrom-диаграмм

Изначально, микросервис «Синтезатор» в ходе тестирования работы устройства формирует временную диаграмму в формате \*.vcd (Приложение Е). Данный формат крайне неудобен, как для анализа в сравнении с эталонной временной диаграммой, так и для генерации графического представления временной диаграммы в рамках веб-приложения.

Для преобразования временных диаграмм к более удобному для дальнейшей обработки формату был реализован микросервис «Преобразователь формата временных диаграмм».

Его исходный код написан на Python с применением библиотеки PyDigitalWaveTools. Данная библиотека преобразует временную диаграмму в формате \*.vcd в формат JSON-PyDigitalWaveTools согласно алгоритму, заложенному автором библиотеки. Диаграмма Джексона, описывающая этот формат представлена на рисунке 16 [9].

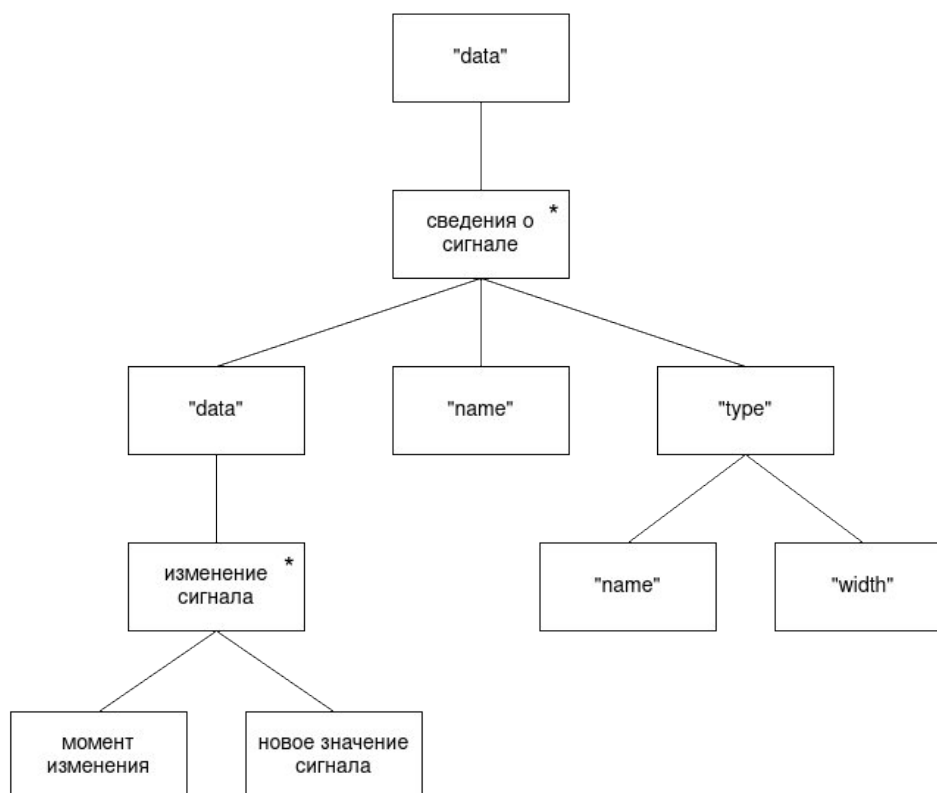


Рисунок 16 — формат временных диаграмм в PyDigitalWaveTools

В нем поле `data.name` — имя сигнала, `data.type.name` — название типа сигнала (комбинационный или регистровый), `data.type.width` — разрядность сигнала. «Момент изменения» — количество элементарных отрезков времени (их размер определяется в момент написания теста для устройства) от начала отсчет до изменения сигнала.

Пример описания сигнала в этом формате приведен в листинге 4.

Листинг 4 — пример описания временной диаграммы в PyDigitalWaveTools

```

{
  "data": [
    {
      "data": [
        [0, "b0"],
        [100, "b1"]
      ],
      "name": "Sum",
      "type": {
        "name": "wire",

```

```

        "width": 4
      }
    },
    /* ... */
  ]
}

```

Формат PyDigitalWaveTools намного более удобен для сравнения с эталонной временной диаграммой (в том же формате) и анализа несоответствий, однако алгоритм визуализации для этого формата пришлось бы реализовать самостоятельно.

Вместо этого было решено реализовать еще один преобразователь формата («Генератор wavedrom-диаграмм»), который преобразовал бы временные диаграммы из формата PyDigitalWaveTools в формат движка Wavedrom [10]. Данный движок позволяет визуализировать временные диаграммы посредством http-запроса, содержащего описание сигнала, к специальному интернет-сервису.

Описание формата для движка Wavedrom в нотации Джексона приведено на Рисунке 17.

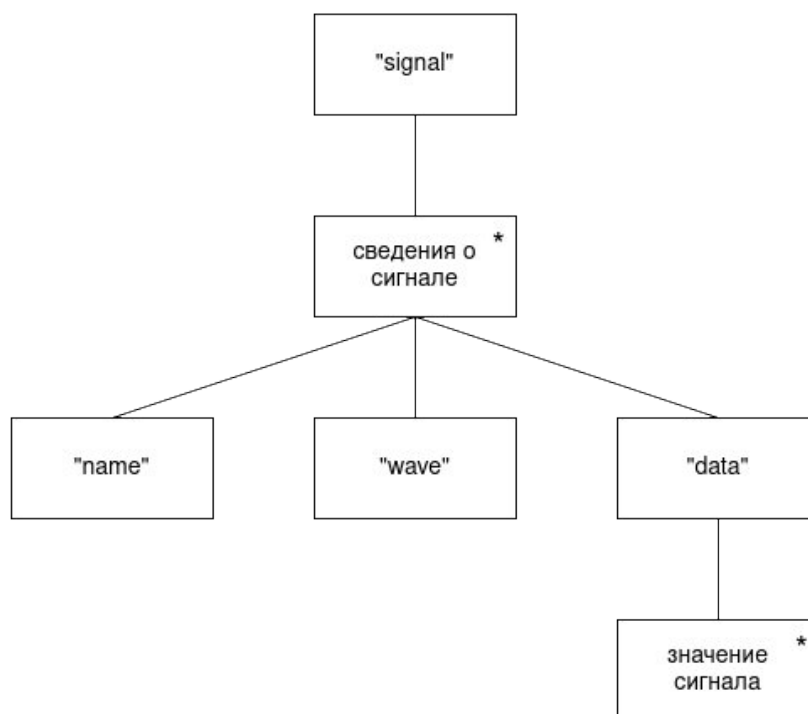


Рисунок 17 — формат временных диаграмм для движка Wavedrom

Поля структуры имеют значение, описанное ниже:

- signal — массив всех сигналов временной диаграммы;
- name — имя сигнала;
- wave — форма сигнала (для каждого такта может иметь значения: «0», «1», «x», «z», «.» — сохранить предыдущее, «|» — разрыв, «=» — обратиться к очередному элементу «data»);
- data — массив, содержащий строковые значения сигнала (можно, например, отобразить большое число для многоразрядной шины).

Пример описания временной диаграммы в формате движка Wavedrom приведен в листинге 5.

Листинг 5 — описание временной диаграммы в формате движка Wavedrom

```
{signal: [  
  {name: 'clk', wave: 'p.....|...'},  
  {name: 'dat', wave: 'x.345x|=x', data: ['0x16', '0xAA', '0x07', '0x11']},  
  {name: 'req', wave: '0.1..0|1.0'},  
  {},  
  {name: 'ack', wave: 'z.....|01.'}  
]}
```

Визуализация данной временной диаграммы приведена на рисунке 18.

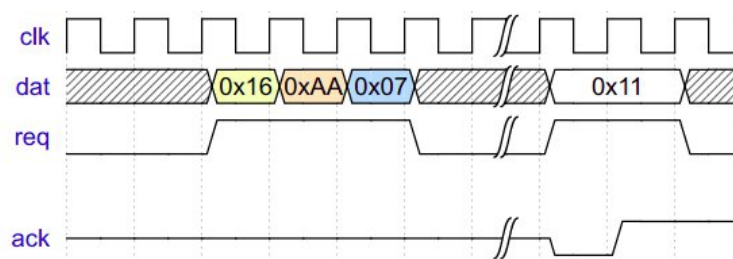


Рисунок 18 — визуализация временной диаграммы

Основной функцией «Генератора wavedrom-диаграмм» является функция parseValues, программный код которой приведен в листинге 6.

Листинг 6 — программный код функции parseValues

```
func (vcd_frame VCD_Struct) parseValues(end_scale int, width_scale int) (map[string]string,  
map[string][]string) {  
  // значения сигналов, e.g.: {"a": ["0x10", "0x35", "0xA1"], "b": ["0x03", "0x0F"]}  
  var parsedData = map[string][]string{
```

```

// форма сигналов, e.g.: {"a": "1...0.....1..", "b": "0....=....=.."}
var parsedWaves = map[string]string{}
// отсортированные моменты изменения всех сигналов
timings := vcd_frame.GetSortedTimings()
tick_amount := findGCD(timings) // НОД момента изменения сигнала
end_time := timings[len(timings)-1] + tick_amount*end_scale

for i := 0; i < end_time/tick_amount; i++ { // проход по всем моментам дискретизации
    for _, single_signal := range vcd_frame.Signal { // проход по всем сигналам диаграммы
        fl_change := false // признак изменения сигнала в этом моменте времени
        name := single_signal.Name
        fl_single_wire := true // признак однобитного сигнала
        if single_signal.Type.Width > 1 {
            name += "[0:" + strconv.Itoa(single_signal.Type.Width-1) + "]"
            fl_single_wire = false
        }
        // проход по всем точкам дискретизации
        for _, data_value := range single_signal.Data {
            // изменился ли сигнал в рассматриваемой точки дискретизации?
            if int(math.Round(data_value[0].(float64))) == i*tick_amount {
                if fl_single_wire {
                    parsedWaves[name] += data_value[1].(string)
                } else {
                    parsedData[name] = append(parsedData[name], data_value[1].(string))
                    parsedWaves[name] += "="
                }
                fl_change = true
                break
            }
        }
        if !fl_change {
            parsedWaves[name] += "."
        }
        // масштабирование ширины сигнала на диаграмме
        for j := 1; j < (vcd_frame.getMaxValueWidth()*width_scale)/2; j++ {
            parsedWaves[name] += "."
        }
    }
}
return parsedWaves, parsedData
}

```



### 2.3.4 Микросервис анализа статистики

Для работы со статистикой прохождения заданий было решено реализовать отдельный микросервис, структура которого была бы аналогична структуре микросервиса взаимодействия с БД (диаграмма компоновки представлена на рисунке 19).

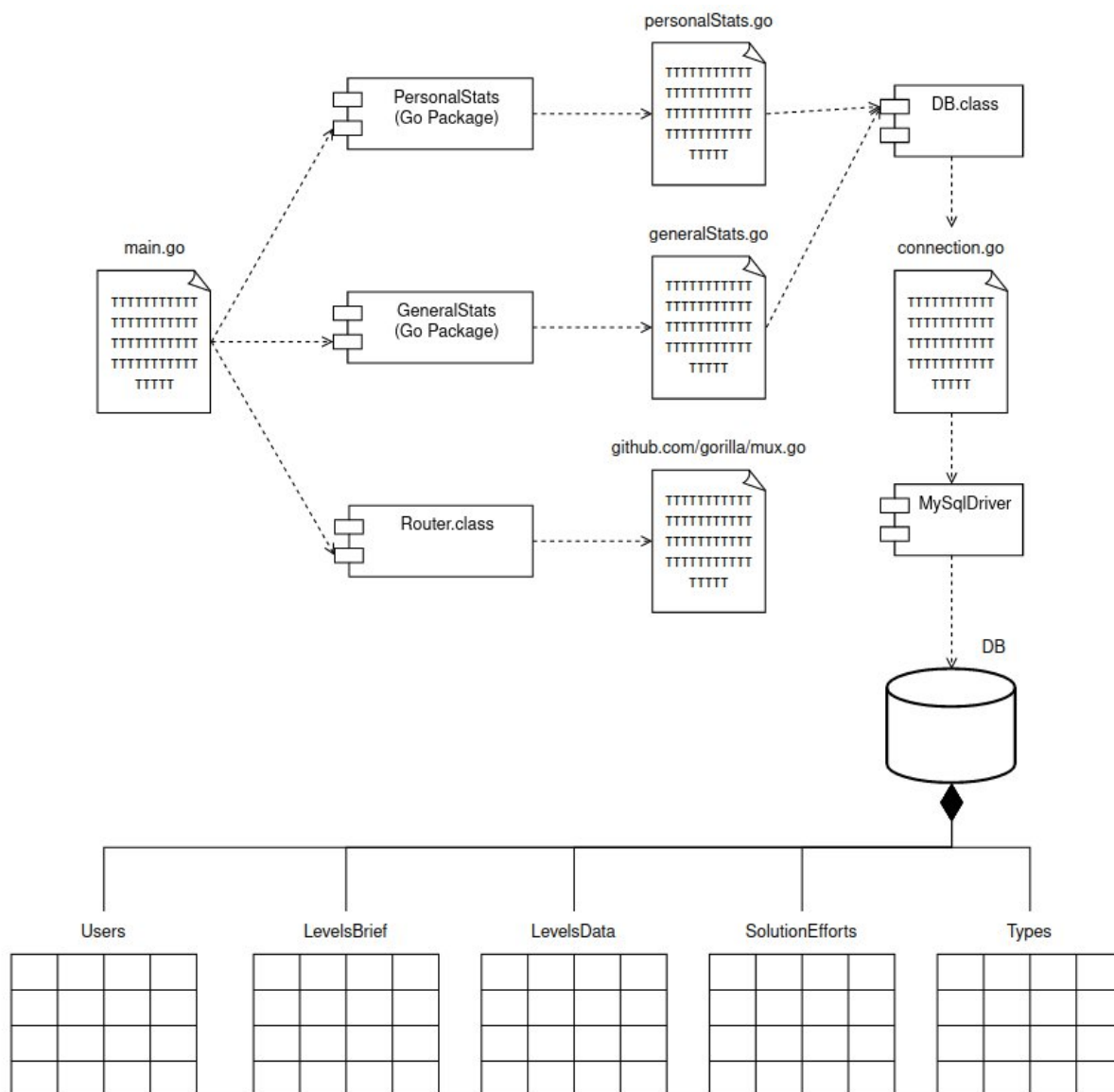


Рисунок 19 — диаграмма компоновки микросервиса анализа статистики

Микросервис реализует, два вида запросов — запросы, получающие персональную статистику пользователя (требуется `user_id`), и запросы, получающие обобщенную статистику для всех пользователей. Полученные данные возвращаются в формате JSON.

Запросы, получающие персональную статистику:

- прогресс по курсу — количество полученных баллов и решенных заданий, статус прохождения курса (<80% баллов от максимума — «not\_passed», 80-90% — «passed», >90% — «awesome»);
- статус прохождения каждого задания (информация об уровне из таблицы LevelsBrief и признак «is\_solved» для каждого задания);
- среднее число неправильных попыток на задание;
- общее число попыток и правильных решений за последний месяц;
- Дата решения первого и последнего решенного задания.

Запросы, получающие обобщенную статистику:

- количество верных решений для каждого задания;
- среднее число ошибок в каждом задании;
- распределение количества пройденных заданий в зависимости от числа их решений (абсцисса — количество решений  $n$ , ордината — число заданий которые решили  $n$  раз);
- среднее число предоставленных пользователями решений по месяцам;
- топ 10 активных пользователей за последний месяц.

### **2.3.5 Анализатор решений**

Анализатор решений представляет собой микросервис, задачей которого является проверка пользовательских ответов, а также предоставление подсказок в случае допущения пользователем ошибки.

Анализатор способен работать с тремя типами заданий:

- тест с выбором одного варианта ответа — анализатор сопровождает неправильный ответ текстовой подсказкой;
- тест с выбором нескольких вариантов ответа — анализатор сопровождает неправильный ответ информацией о наличии/отсутствии ложноположительных/ложноотрицательных вариантов;

- задание на описание устройства на языке Verilog — анализатор приводит список отсутствующих выходных сигналов и список сигналов, поведение которых не соответствует ожидаемому.

Для универсализации алгоритма обработки решений используется полиморфизм (рисунок 20).

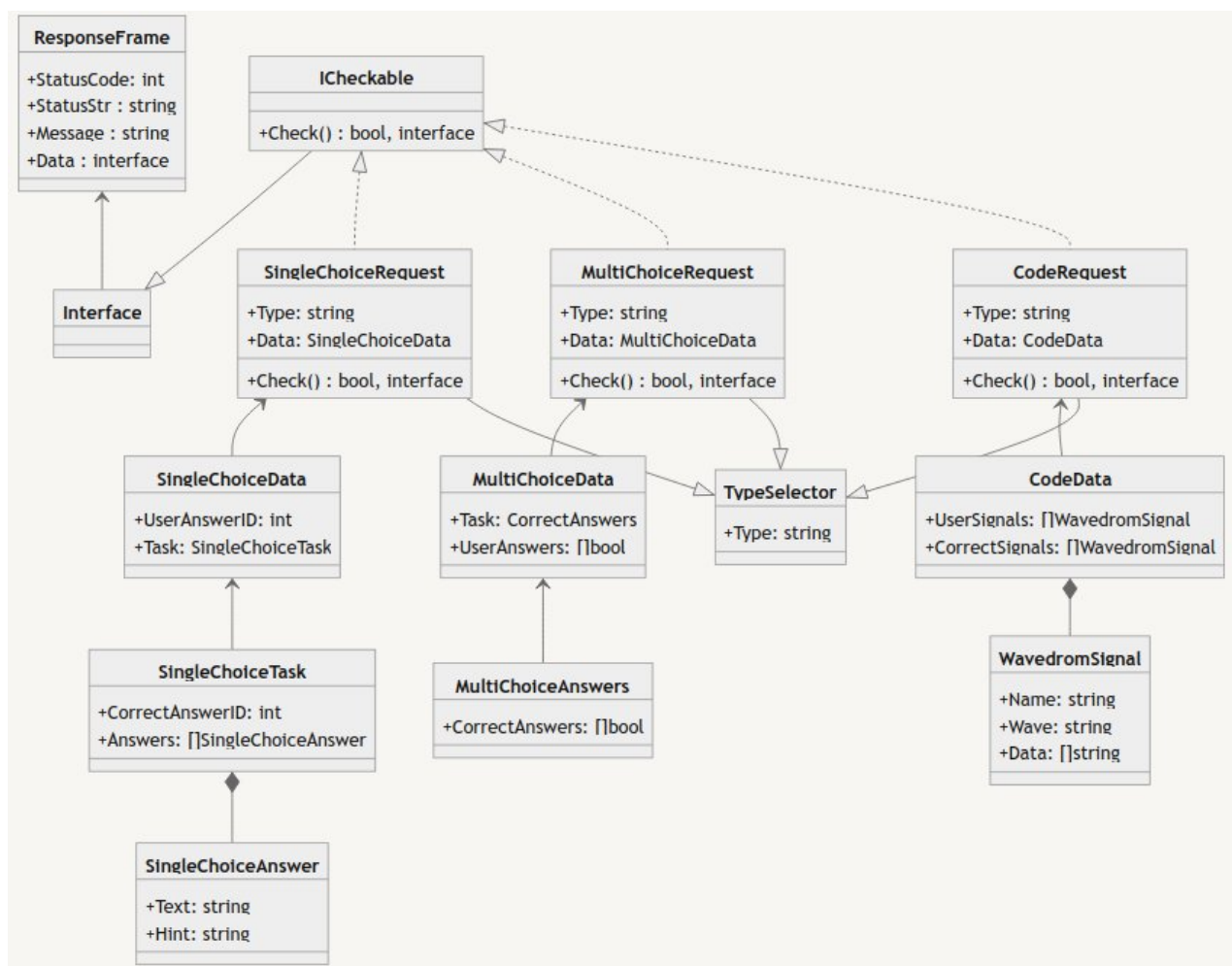


Рисунок 20 — диаграмма классов анализатора решений

## 2.4 Выводы

В рамках конструкторской части была спроектирована структура компонентов и спроектированы сами компоненты подсистемы тестирования знаний языков описания аппаратуры: подсистема взаимодействия с БД, синтезатор устройств, преобразователи формата временных диаграмм, анализатор решений и подсистема анализа статистики.

Спроектированные подсистема реализует функции и варианты использования, упомянутые в исследовательской части.

### **3 Разработка технологии тестирования**

#### **3.1 Выбор подходов и методов тестирования**

Процесс разработки программного обеспечения в том виде, как оно определяется в современной модели жизненного цикла программного обеспечения предполагает три стадии тестирования [11]:

- автономное тестирование компонентов ПО;
- комплексное тестирование разрабатываемого ПО;
- системное или оценочное тестирование на соответствие основным критериям качества.

Для проведения автономного и комплексного тестирования необходимо сформировать тестовые наборы, опираясь на структурный или функциональный подход.

Структурный подход базируется на том, что известна структура тестируемого ПО, в том числе его алгоритмы. Тесты строят так, чтобы обеспечить максимальное покрытие исходного кода.

Функциональный подход основывается на том, что структура ПО не известна. В этом случае тесты строят, опираясь на функциональные спецификации. Тесты строят на базе различных способов декомпозиции множества данных.

Разработанное ПО включает в себя разнородные алгоритмы, для всестороннего тестирования которых с помощью структурного подхода понадобились бы значительные затраты времени на изучение исходного кода, разработку большого числа тестов и загрузок. По этой причине было решено использовать функциональный подход, который позволил бы значительно сократить время на разработку тестов, обеспечивая при этом тестирование всей необходимой функциональности [12].

В качестве оценочного тестирования согласно ТЗ было выбрано нагрузочное тестирование.

### 3.2 Разработка плана автономного тестирования

В качестве основного метода, используемого для разработки функциональных тестов, был использован метод эквивалентного разбиения.

Все задания, проверяемые анализатором решений, принадлежат к одному из следующих классов эквивалентности:

- тест с выбором одного ответа;
- тест с выбором множества ответа;
- задания на написания программы.

Для каждого из выделенных классов заданий можно выделить 3 класса решений:

- правильное решение задания;
- неправильное решение задания;
- решение, закодированное с нарушением формата.

На основе такого эквивалентного разбиения были составлены тесты, представленные в таблице 4.

Таблица 4 — планируемые тесты анализатора решений

Номер теста	Название теста	Описание теста	Ожидаемый результат
1	single correct positive	Отправить на проверку одновариантный тест с ID ответа равным ID верного ответа	Признак is_correct = True
2	single correct negative	Отправить на проверку одновариантный тест с ID ответа не равным ID верного ответа	Признак is_correct = False

Продолжения таблицы 4

3	single error overflow	Отправить на проверку одновариантный тест с ID ответа больше максимального допустимого	Признак is_correct = False
4	multi correct positive	Отправить на проверку многовариантный тест с верными ответами	Признаки is_correct = True, false_positive = False, false_negative = False
5	multi correct false positive	Отправить на проверку многовариантный тест с ложноположительными ответами	Признаки is_correct = False, false_positive = True, false_negative = False
6	multi correct false negative	Отправить на проверку многовариантный тест с ложноотрицательными ответами	Признаки is_correct = False, false_positive = False, false_negative = True
7	multi error size mismatch	Отправить на проверку многовариантный тест с разной длиной массива ответов пользователя и эталонного ответа	Ошибка "answer size mismatch"
8	code correct positive	Отправить на проверку корректно выполненное задание на написание кода	Признак is_correct = True
9	code correct negative	Отправить на проверку некорректно выполненное задание на написание кода	Признак is_correct = False, возвращен список несовпадающих с эталоном сигналов

Микросервис взаимодействия БД работает с данными (метаданными) 4 классов (для каждой из сущностей):

- данные для создания экземпляра сущности;
- метаданные для чтения экземпляра сущности;
- данные для изменения экземпляра сущности;
- метаданные для удаления экземпляра сущности.

В каждом из этих классов могут содержаться следующие подклассы:

- корректные данные (метаданные);
- данные в некорректном формате (отсутствуют поля и т.п.);
- метаданные с несуществующим ID.

Так как классы эквивалентности одинаковы для всех сущностей, в таблице 5 приведены примеры тестов для сущности LevelsBrief. Тесты для других сущностей аналогичны.

Таблица 5 — планируемые тесты микросервиса взаимодействия с БД для сущности LevelsBrief

Номер теста	Название теста	Описание теста	Ожидаемый результат
1	correct read level brief	Отправить запрос на считывание экземпляра сущности LevelsBrief с заданным ID из БД	Строка из БД с информацией о сущности LevelsBrief с заданным ID
2	correct create level brief	Отправить запрос на создание экземпляра сущности LevelsBrief, считать информацию о ней	Строка в БД с заданными значениями полей

Продолжение таблицы 5

3	correct update level brief	Отправить запрос на изменение экземпляра сущности LevelsBrief с заданным ID, считать информацию о ней	Строка в БД с новыми значениями полей
4	correct delete level brief	Отправить запрос на удаление экземпляра сущности LevelsBrief с заданным ID, считать информацию о ней	Поле is_archived = True
5	error create level invalid format	Отправить запрос на создание экземпляра сущности LevelsBrief, считать информацию о ней	Ошибка "invalid data format"
6	error read level invalid id	Отправить запрос на считывание экземпляра сущности LevelsBrief с несуществующим ID из БД	Ошибка "LevelsBrief entity with ID=<id> does not exist"

Для преобразователей временных диаграмм и синтезатора данные можно разделить на корректные и некорректные. Эти тесты приведены в таблицах 6-7.

Таблица 6 — планируемые тесты преобразователя формата временных диаграмм

Номер теста	Название теста	Описание теста	Ожидаемый результат
1	correct positive	Отправить запрос на преобразование временной диаграммы в формате VCD с корректными данными	JSON с описанием временной диаграммы в заданном формате



Продолжение таблицы 6

2	error in vcd	Отправить запрос на преобразование временной диаграммы в формате VCD с произвольными символами вместо коррентных данных	Ошибка "vcd parsing error"
---	--------------	---	----------------------------

Таблица 7 — планируемые тесты микросервиса преобразования в формат wavedrom

Номер теста	Название теста	Описание теста	Ожидаемый результат
1	correct positive	Отправить запрос на преобразование временной диаграммы в формате PyDigitalWaveTools	Временная диаграмма в формате wavedrom
2	error format	Отправить запрос на преобразование временной диаграммы с произвольными данными	Ошибка "invalid data format"

Для синтезатора в классе некорректных данных были выделены подклассы:

- данные с ошибкой в исходном коде устройства;
- данные с ошибкой в исходном коде тестов;
- данные без необходимой директивы "\$dumpvars".

Соответствующие тесты приведены в таблице 8

Таблица 8 — планируемые тесты синтезатора

Номер теста	Название теста	Описание теста	Ожидаемый результат
1	correct positive	Отправить корректный исходный код описания устройства и тестов	Временная диаграмма в формате VCD
2	error in device	Отправить некорректный исходный код описания устройства и корректный код тестов	Ошибка "synthethis error"
3	error in testbench	Отправить корректный исходный код описания устройства и некорректный код тестов	Ошибка "simulation error"
4	error no dumpvars	Отправить корректный исходный код описания устройства и тестов, но без директивы dumpvars	Ошибка "testbench without \$dumpvars"

Составленные автономные тесты позволяют обеспечить высокую степень покрытия функций компонентов разработанного ПО.

### 3.3 Разработка плана комплексного тестирования

Так как большинство базовых функций разработанной подсистемы тестирования знания было протестировано в режиме автономного тестирования, для проведения комплексного тестирования будет достаточно проверить пользовательские сценарии проверки задания, создания/изменения задания, возможность обращения к микросервисам анализа статистики и работы с БД.

Тесты для комплексного тестирования приведены в таблице 9.

Таблица 9 — планируемые тесты компонента бизнес-логики

Номер теста	Название теста	Описание теста	Ожидаемый результат
1	correct proxy crud	Запросить данные о пользователе с ID = 1 из БД	Данные о пользователе с ID = 1 из БД
2	correct proxy stats	Запросить статистику прохождения заданий на основе тестовых данных	Показатели статистики соответствуют предварительно рассчитанным
3	error no user in check	Запросить проверку задания для несуществующего пользователя	Ошибка "user does not exist"
4	error not admin in crud	Запросить изменение задания от имени пользователя, не являющегося администратором	Ошибка "user have no rights to modify levels"
5	correct check	Запросить проверку правильно выполненного задания	Данные о выполнении задания занесены в БД
6	error no level in check	Запросить проверку несуществующего задания	Ошибка "crud-microservice.levelsbrief error"
7	error create levelsdata	Запросить создание задания на программирование, указав некорректный исходный код описания устройства	Ошибка "device synthesis error"
8	correct create levelsdata	Запросить создание задания на программирование	Задание добавлено в БД

### 3.4 Выбор языка программирования и библиотек для функционального тестирования

Так как написание тестов на Golang требует значительного времени и такие тесты сложнее поддерживать в силу непопулярности языка среди тестировщиков, было решено тестировать разработанные микросервисы, предварительно запуская их (см. приложение Б) и обращаясь к ним по протоколу HTTP. Такой подход позволил реализовать тесты не привязываясь к языку реализации исходного ПО.

Поскольку Python обладает простым синтаксисом, большим количеством библиотек и популярен среди тестировщиков (рисунок 21), именно он был выбран для реализации тестов [13].

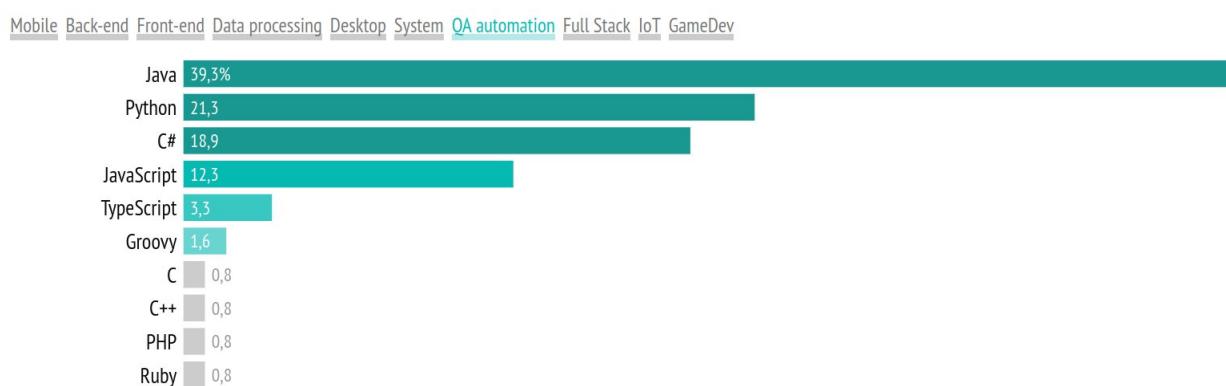


Рисунок 21 — наиболее популярные языки в области автоматизированного тестирования

В качестве основной библиотеки для тестирования была выбрана библиотека `pytest`, являющаяся одной из наиболее популярных библиотек для автоматизированного тестирования [14].

`Pytest` обладает следующими основными преимуществами [15]:

- меньше повторяющегося кода за счет независимости от API;
- выполнение определенного набора тестов с помощью фильтрации;
- параметризация тестов — запуск одного и того же теста с разными наборами параметров;
- гибкость — архитектура библиотеки основана на плагинах, которые можно установить отдельно;

- полная обратная совместимость с unittest — возможность запуска тестов, написанных на нем;
- выполнение нескольких тестов параллельно;
- установочный код можно использовать повторно.

В дополнение к pytest была использована библиотека allure, формирующая интерактивные отчеты о прохождении тестов. Тесты в allure можно иерархически группировать и сопровождать логами и вложениями. Allure поддерживается не только для Python, но и для Java, JavaScript, Ruby, PHP, .Net и Scala.

Такой широкий набор поддерживаемых языков программирования делает allure (рисунок 22) знакомым многим разработчикам, тестировщикам и менеджерам, что упрощает поддержку тестов [16].

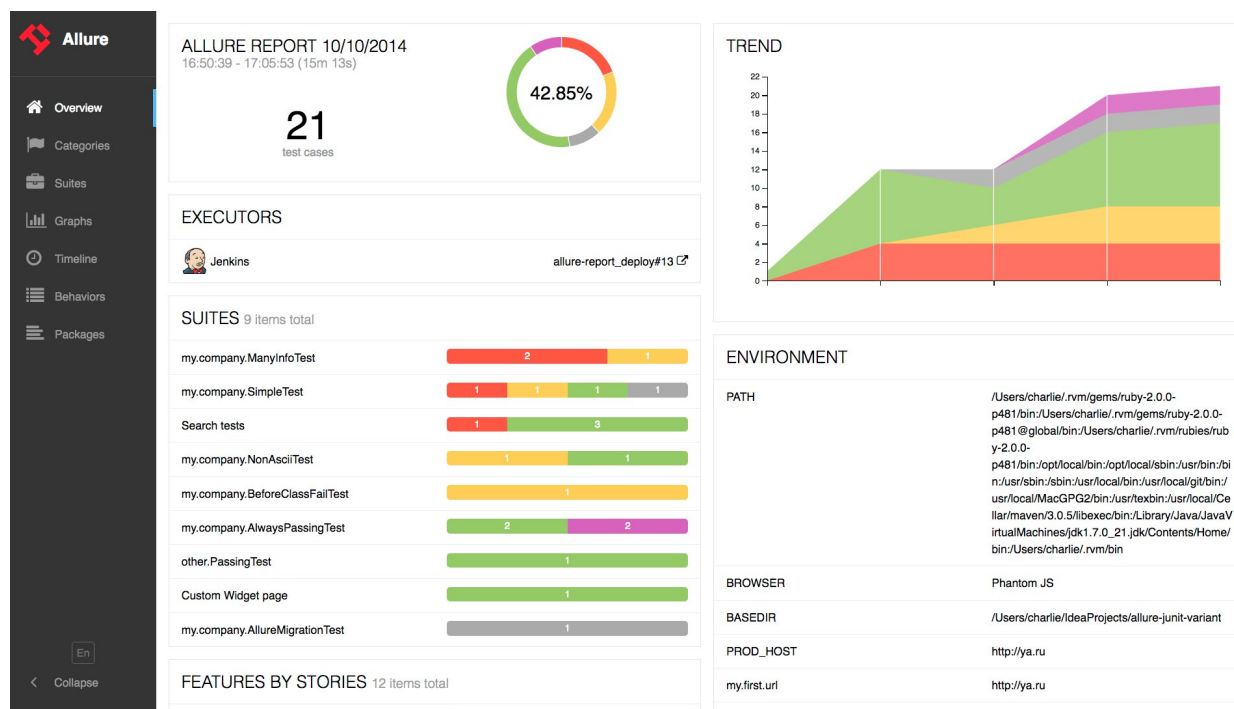


Рисунок 22 — интерфейс allure

### 3.5 Реализация и проведение функциональных тестов

Для упрощения написания тестов и генерации отчетов был реализован вспомогательный модуль `utils.py`, отвечающий за отправку http-запросов к микросервисам, проверку http-ответов и их прикрепление к отчетам в allure. Программный код `utils.py` приведен в листинге 7.

## Листинг 7 — программный код utils.py

```
import requests
import allure

@allure.step("Send request") # отправка запроса - новый этап в отчете
def send_request(port, url, payload):
    path = f"http://127.0.0.1:{port}/{url}"
    allure.attach(path, 'Request URL', allure.attachment_type.TEXT)
    # прикрепить данные запроса к отчету
    allure.attach(json.dumps(payload, indent=4, ensure_ascii=False).encode(), 'Request
payload', allure.attachment_type.TEXT)
    resp = requests.post(path, json = payload)
    # прикрепить данные ответа к отчету
    allure.attach(json.dumps(resp.json(), indent=4, ensure_ascii=False).encode(), 'Response
payload', allure.attachment_type.TEXT)
    return resp

@allure.step("Check response [ok]") # проверка ответа без ошибок
def is_ok_response(response):
    allure.attach(json.dumps(response.json(), indent=4, ensure_ascii=False).encode(),
'Response payload', allure.attachment_type.TEXT)
    return response.status_code == 200 \
        and response.json()["status_code"] == 200 \
        and response.json()["status_str"] == "ok"

@allure.step("Check response [error]") # проверка ответа при ошибке
def is_error_response(response):
    allure.attach(json.dumps(response.json(), indent=4, ensure_ascii=False).encode(),
'Response payload', allure.attachment_type.TEXT)
    return response.status_code != 200 \
        and response.json()["status_code"] != 200 \
        and response.json()["status_str"] == "error"

def ordered_json(obj): # упорядочивание JSON для последующего сравнения
    if isinstance(obj, dict):
        return sorted((k, ordered_json(v)) for k, v in obj.items())
    if isinstance(obj, list):
        return sorted(ordered_json(x) for x in obj)
    else:
        return obj
```

Помимо `utils.py`, были реализованы вспомогательные модули `settings.py` и `consts.py`, которые определяют порты по которым доступны микросервисы и данные для HTTP-запросов в тестах.

Пример реализации простейшего теста (проверка работы анализатора для неправильно решенного пользователем теста с одним вариантом ответа) приведен в листинге 8.

Листинг 8 — пример реализации теста

```
import utils.settings as settings
import utils.utils as utils
from utils.consts import *

import allure
import copy

# < ...>

# определение иерархии и описания в отчете
@allure.description("Test for singlechoice wrong-answered task")
@allure.epic("Unit-testing")
@allure.story("Analyzer")
def test_single_correct_negative():
    # считывание данных при правильном ответе из констант
    payload = copy.deepcopy(Analyzer.single_valid_positive)
    # изменение ID выбранного ответа
    payload["data"]["user_answer_id"] = 1
    # http-запрос
    resp = utils.send_request(settings.ANALYZER_PORT,
                              "check", payload)
    # http-ответ успешен?
    assert utils.is_ok_response(resp)
    # http-ответ задание решено неверно?
    assert resp.json()["is_correct"] == False
    # возвращена ожидаемая подсказка?
    assert resp.json()[
        "data"]["hint"] == payload["data"]["task"]["answers"][1]["hint"]

# < ...>
```

Пример отчета, полученного после выполнения этого теста (и аналогичных ему) приведен на рисунках 23-24.

The screenshot shows the Allure Behaviors report. On the left, a sidebar lists navigation options: Overview, Categories, Suites, Graphs, Timeline, Behaviors (selected), and Packages. The main area displays a table of test behaviors. The table has columns for order, name, duration, and status. The status column shows a summary: 0 failed, 0 skipped, 46 passed, 0 not executed, and 0 pending. The table lists various test cases under categories like Integrational testing, Unit-testing, and Analyzer. The test case '#1 test\_single\_correct\_negative' is highlighted in yellow. To the right of the table, the details for this specific test case are shown. It includes a 'Passed' status, severity (normal), duration (5ms), and a description: 'Test for singlechoice wrong-answered task'. The execution details show a 'Send request' step with parameters and attachments, and a 'Check response' step with a parameter and attachment.

order	name	duration	status
Status: 0 0 46 0 0			
Marks: [pass] [fail] [error]			
Integrational testing (8)			
Gateway (8)			
Unit-testing (38)			
Analyzer (9)			
#9	test_code_correct_negative	4ms	pass
#8	test_code_correct_positive	3ms	pass
#6	test_multi_correct_false_negative	3ms	pass
#5	test_multi_correct_false_positive	3ms	pass
#4	test_multi_correct_positive	3ms	pass
#7	test_multi_error_size_mismatch	5ms	pass
#1	test_single_correct_negative	5ms	pass
#2	test_single_correct_positive	5ms	pass
#3	test_single_error_overflow	3ms	pass
CRUD (12)			
General stats (9)			
Parser (2)			
Synthesizer (4)			
Wavedrom (2)			

**test\_analyzer#test\_single\_correct\_negative**  
**Passed** test\_single\_correct\_negative  
 Overview History Retries  
 Severity: normal  
 Duration: 5ms  
 Description: Test for singlechoice wrong-answered task  
 Execution  
 Set up  
 Test body  
 Send request 3 parameters, 3 attachments (4ms)  
 port: 8083  
 url: /check  
 payload: {type: 'singlechoice\_test', data: {user\_answer\_id: 1, task: {correct\_ans...  
 Request URL: http://127.0.0.1:8083/check (27 B)  
 Request payload: {type: 'singlechoice\_test', data: {user\_answer\_id: 1, task: {correct\_ans... (639 B)  
 Response payload: {status\_str: 'ok', status\_code: 200, message: 'checked', is\_correct: false, data: {hint: 'Перечитай главу'}} (170 B)  
 Check response [ok] 1 parameter, 1 attachment (1ms)  
 response: <Response [200]>  
 Response payload: {status\_str: 'ok', status\_code: 200, message: 'checked', is\_correct: false, data: {hint: 'Перечитай главу'}} (170 B)

Рисунок 23 — отчет о результате теста

The screenshot shows the details of the 'test\_single\_correct\_negative' test case. On the left, the same table of test behaviors is visible, with the test case '#1 test\_single\_correct\_negative' highlighted. The main area displays the details of the test case, including the 'Request URL' and 'Request payload'. The 'Request URL' is 'http://127.0.0.1:8083/check'. The 'Request payload' is a JSON object: {type: 'singlechoice\_test', data: {user\_answer\_id: 1, task: {correct\_answer\_id: 2, answers: [{text: 'Умножение', hint: 'Название говорит само за себя'}], {text: 'Вычитание', hint: 'Перечитай главу'}, {text: 'Сложение', hint: 'Все верно'}}}}. The 'Response payload' is a JSON object: {status\_str: 'ok', status\_code: 200, message: 'checked', is\_correct: false, data: {hint: 'Перечитай главу'}}. The 'Check response' step is shown with a status of 'ok' and a message of 'checked'.

**Behaviors** [search] [info] [download]  
 order name duration status  
 Status: 0 0 46 0 0 Marks: [pass] [fail] [error]  
 Integrational testing (8)  
 Gateway (8)  
 Unit-testing (38)  
 Analyzer (9)  
 #9 test\_code\_correct\_negative 4ms  
 #8 test\_code\_correct\_positive 3ms  
 #6 test\_multi\_correct\_false\_negative 3ms  
 #5 test\_multi\_correct\_false\_positive 3ms  
 #4 test\_multi\_correct\_positive 3ms  
 #7 test\_multi\_error\_size\_mismatch 5ms  
 #1 test\_single\_correct\_negative 5ms  
 #2 test\_single\_correct\_positive 5ms  
 #3 test\_single\_error\_overflow 3ms  
 CRUD (12)  
 General stats (9)  
 Parser (2)  
 Synthesizer (4)  
 Wavedrom (2)

**test\_analyzer#test\_single\_correct\_negative**  
**Passed** test\_single\_correct\_negative  
 Overview History Retries  
 Severity: normal  
 Duration: 5ms  
 Description: Test for singlechoice wrong-answered task  
 Execution  
 Set up  
 Test body  
 Send request 3 parameters, 3 attachments (4ms)  
 port: 8083  
 url: /check  
 payload: {type: 'singlechoice\_test', data: {user\_answer\_id: 1, task: {correct\_ans...  
 Request URL: http://127.0.0.1:8083/check (27 B)  
 Request payload: {type: 'singlechoice\_test', data: {user\_answer\_id: 1, task: {correct\_ans... (639 B)  
 Response payload: {status\_str: 'ok', status\_code: 200, message: 'checked', is\_correct: false, data: {hint: 'Перечитай главу'}} (170 B)  
 Check response [ok] 1 parameter, 1 attachment (1ms)  
 response: <Response [200]>  
 Response payload: {status\_str: 'ok', status\_code: 200, message: 'checked', is\_correct: false, data: {hint: 'Перечитай главу'}} (170 B)

Рисунок 24 — приложения к отчету



После реализации аналогичным образом всех тестов из таблиц 4-9 они были запущены.

Благодаря параллельному запуску тестов через плагин xdist (в данном случае — в 2 потока) удалось выполнить все тесты менее, чем за 600 мс (рисунок 25).

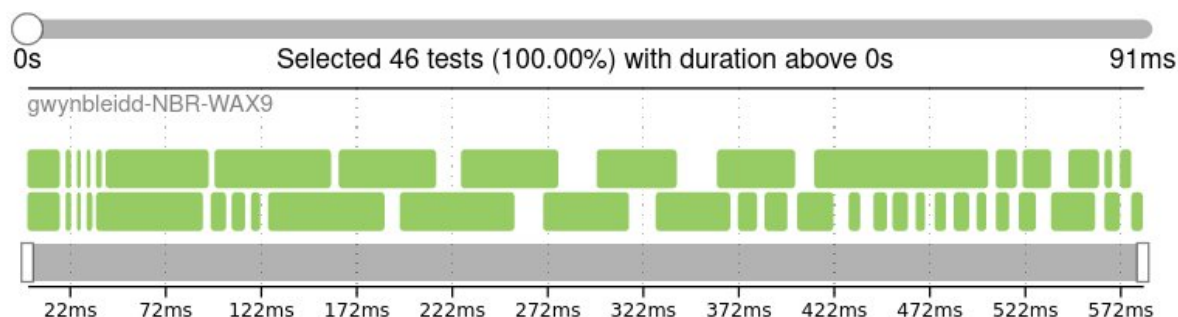


Рисунок 25 — хронология запуска тестов

Статистика запуска тестов из отчета allure приведена на рисунке 26.

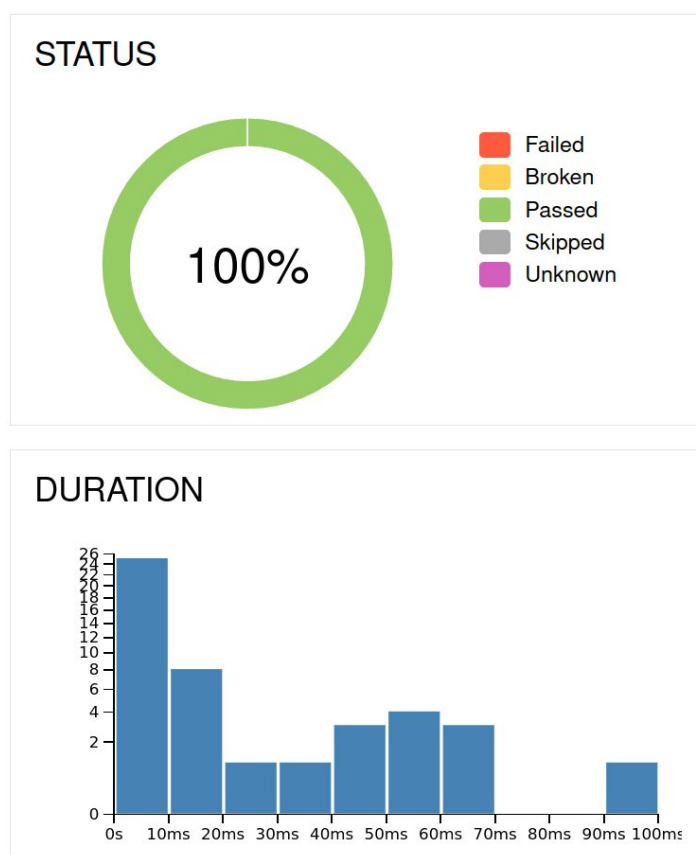


Рисунок 26 — статистика запуска тестов

Все тесты завершились успешно, о чем свидетельствует приведенная статистика.

### 3.6 Нагрузочное тестирование

Для упрощения поддержки тестов реализовать нагрузочное тестирование было решено так же с помощью Python. Наиболее популярной библиотекой для нагрузочного тестирования с помощью Python является locust. Locust предоставляет веб-интерфейс для настройки нагрузки и просмотра отчетов.

Пользователь значительно чаще считывает данные из БД, чем пишет в нее, кроме того значительное время может занимать синтез устройств и преобразование временных диаграмм при проверке заданий на программирование.

По этим причинам в ходе нагрузочного тестирования были использованы запросы на чтение к БД, отправленные через компонент бизнес-логики (чтобы учесть задержку при проксировании запроса), а так же запросы на синтез устройств и преобразование диаграмм непосредственно к соответствующим микросервисам.

Конфигурация оборудования, на котором проводится нагрузочное тестирование:

- ОС: Ubuntu 20.04 focal
- Ядро: x86\_64 Linux 5.15.0-60-generic
- Процессор: Intel Core i3-10110U @ 4x 4,1 ГГц
- ОЗУ: 4229 МБ / 7691 МБ

Так как конфигурация оборудования уступает требуемой в ТЗ, для нагрузочного тестирования была взята максимальная нагрузка в 100 пользователей.

Результаты нагрузочного тестирования преобразователя временных диаграмм приведены в таблице 10.

Таблица 10 — результаты нагрузочного тестирования преобразователя временных диаграмм

Статистика запросов							
Запросы	Ошибки	Среднее (мс)	Мин. (мс)	Макс. (мс)	Сред. размер (байт)	RPS	Ошибки / с
18458	0	261	3	706	493	279.9	0.0
Статистика ответов							
50%ile (мс)	60%ile (мс)	70%ile (мс)	80%ile (мс)	90%ile (мс)	95%ile (мс)	99%ile (мс)	100%ile (мс)
260	300	350	400	450	470	520	710

Изменения частоты запросов, времени ответа и количества пользователей показаны на рисунке 27.

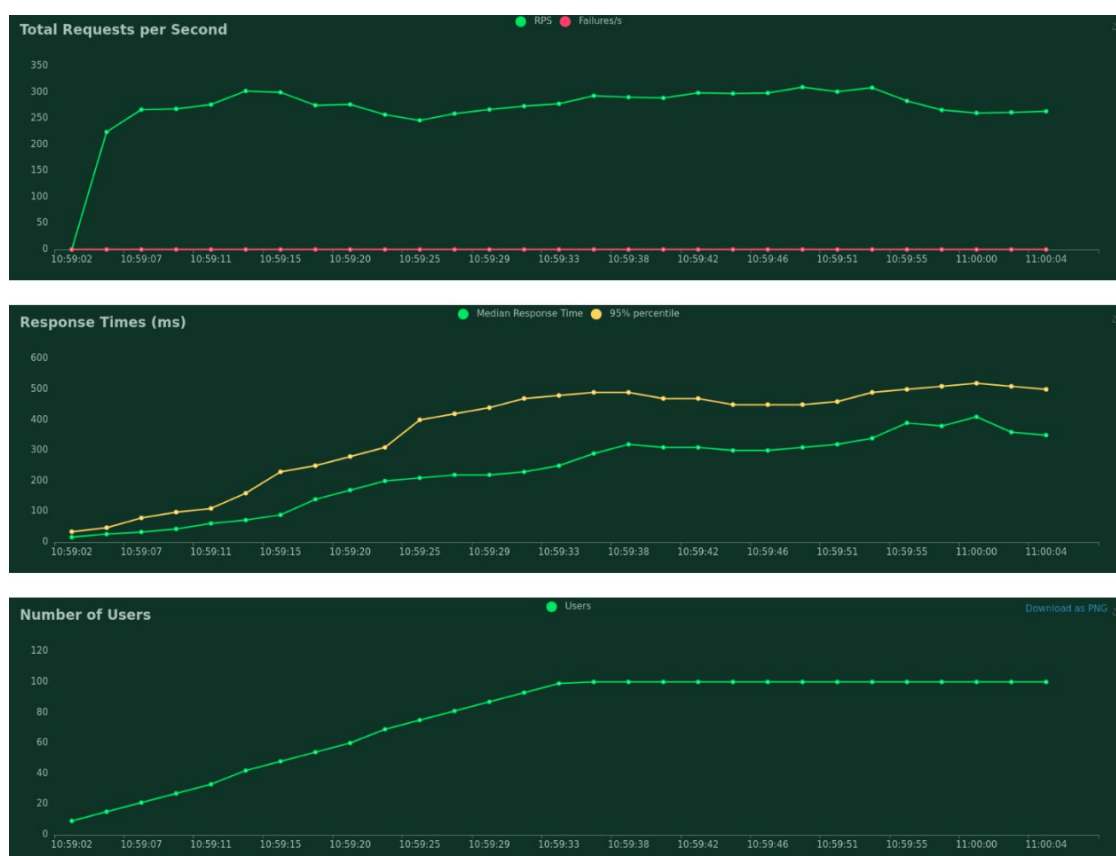


Рисунок 27 — результаты нагрузочного тестирования преобразователя временных диаграмм

Результаты нагрузочного тестирования синтезатора приведены в таблице 11.

Таблица 11 — результаты нагрузочного тестирования синтезатора

Статистика запросов							
Запросы	Ошибки	Среднее (мс)	Мин. (мс)	Макс. (мс)	Сред. размер (байт)	RPS	Ошибки / с
12936	0	525	13	1339	3050	152.8	0.0
Статистика ответов							
50%ile (мс)	60%ile (мс)	70%ile (мс)	80%ile (мс)	90%ile (мс)	95%ile (мс)	99%ile (мс)	100%ile (мс)
580	610	640	680	770	870	950	1300

Изменения частоты запросов, времени ответа и количества пользователей показаны на рисунке 28.

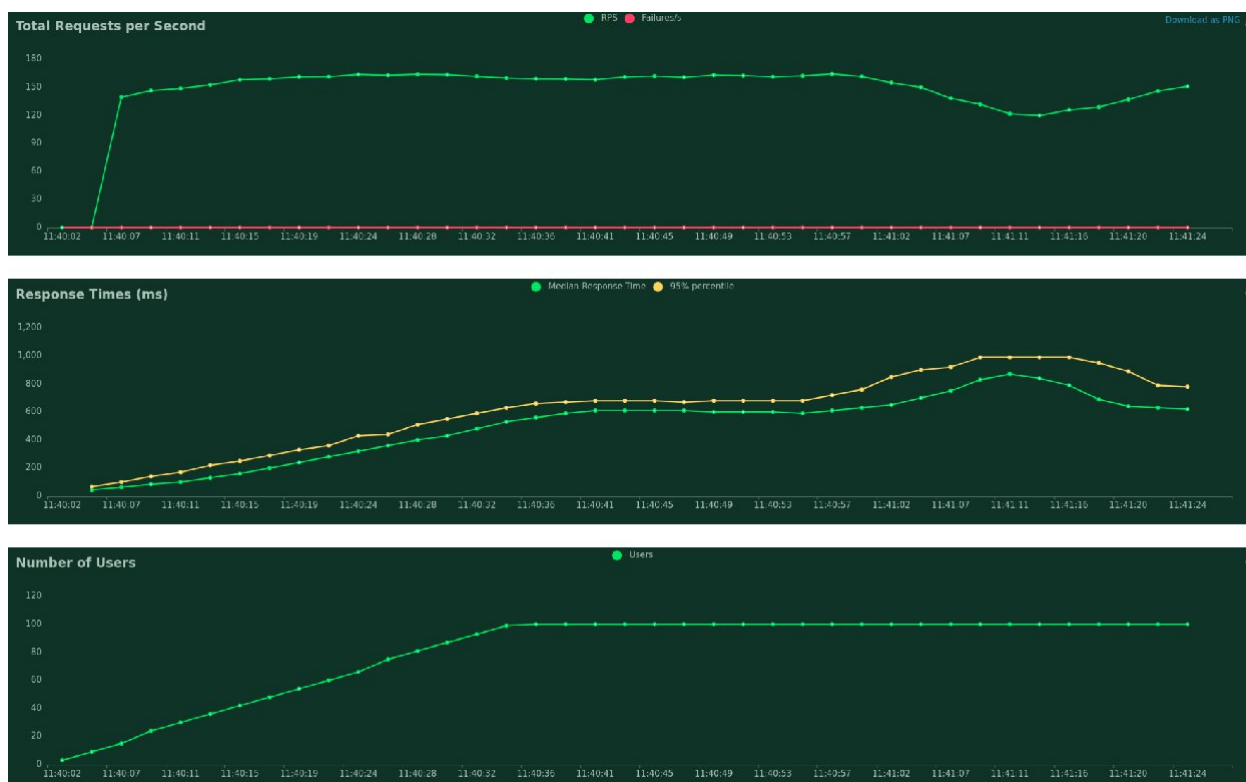


Рисунок 28 — результаты нагрузочного тестирования синтезатора

Результаты нагрузочного тестирования обращения к БД через слой бизнес-логики приведены в таблице 12.

Таблица 12 — результаты нагрузочного тестирования обращения к БД через слой бизнес-логики

Статистика запросов								
Маршрут	Запросы	Ошибки	Среднее (мс)	Мин. (мс)	Макс. (мс)	Сред. размер (байт)	RPS	Ошибки / с
/levels	6743	0	85	3	676	506	111.8	0.0
/stats	20486	0	161	2	1151	331	339.5	0.0
Итого	27229	0	142	2	1151	374	451.3	0.0
Статистика ответов								
Маршрут	50%ile (мс)	60%ile (мс)	70%ile (мс)	80%ile (мс)	90%ile (мс)	95%ile (мс)	99%ile (мс)	100%ile (мс)
/levels	78	94	110	130	160	180	220	680
/stats	110	140	190	270	370	460	630	1200
Итого	100	130	160	210	330	430	600	1200

Изменения частоты запросов, времени ответа и количества пользователей показаны на рисунках 29-30.

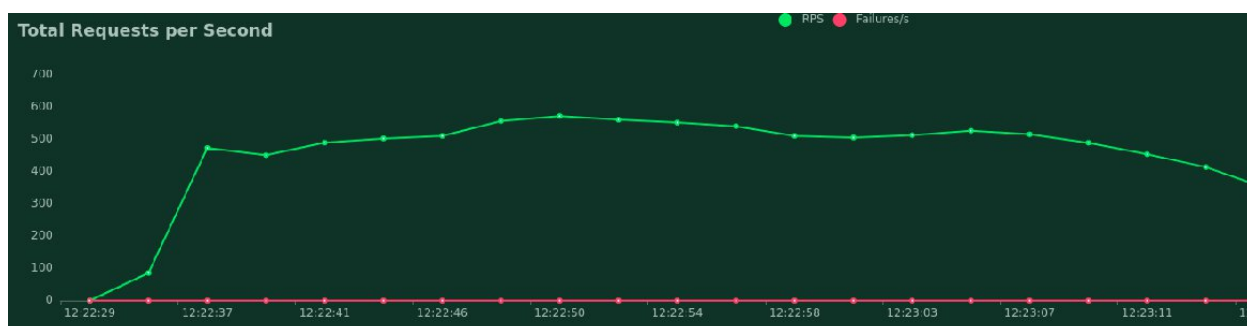


Рисунок 29 — результаты нагрузочного тестирования обращения к БД через слой бизнес-логики



Рисунок 30 — результаты нагрузочного тестирования обращения к БД через слой бизнес-логики

Тестируемые компоненты в ходе тестирования работали корректно, учитывая конфигурацию оборудования, полученные задержки можно считать допустимыми.

### 3.7 Выводы

В рамках технологической части была разработана технология тестирования. Были проведены автономные и комплексные функциональные тесты на основе подхода черного ящика, а также, нагрузочное тестирование. Функциональные тесты прошли успешно, показатели, полученные в ходе нагрузочного тестирования, находятся в допустимых пределах.

## **ЗАКЛЮЧЕНИЕ**

В рамках выполнения выпускной квалификационной работы бакалавра «Программная подсистема тестирования знаний языков описания аппаратуры» заданная подсистема была спроектирована и реализована. Работа была проведена в несколько этапов.

В исследовательской части работы проведен анализ существующих систем тестирования знаний с целью уточнения функциональных требований и определения вариантов использования разработанной подсистемы.

В конструкторской части работы спроектирована программная подсистема тестирования знаний языков описания аппаратуры, позволяющая управлять учебными материалами и заданиями, проводить автоматическую проверку решений пользователей (учащихся). Подсистема предназначена для интеграции в информационную систему образовательного портала.

В технологической части была разработана технология тестирования разработанной подсистемы, проведено ее функциональное и нагрузочное тестирование. Результаты тестирования позволили заключить, что система работает корректно.

Все поставленные задачи выполнены в полном объеме.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Мовчан И. Н. Роль контроля в обучении студентов вуза // Психология и педагогика: методика и проблемы практического применения. 2008. №1. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/rol-kontrolya-v-obuchenii-studentov-vuza> (дата обращения: 04.10.2022).
2. Ильина Е.А. Технология тестирования знаний студентов с использованием системы Moodle / Е.А. Ильина, Л.Г. Егорова, А.В. Дьяконов // Математическое и программное обеспечение систем в промышленной и социальной сферах . – Магнитогорск, 2011. – С. 166-172.
3. Справочный центр Stepik - Практические задания [Электронный ресурс]. – URL: <https://clck.ru/Nu5Wy> (дата обращения: 20.10.2022)
4. Справочный центр Stepik - Составление заданий с рецензированием [Электронный ресурс]. – URL: <https://clck.ru/32a9FC> (дата обращения: 01.11.2022)
5. Гладких И.Ю., Якушин А.В. Системы автоматизированного тестирования по программированию в образовательном пространстве // Современные проблемы науки и образования. – 2016. – № 3. ; URL: <https://science-education.ru/ru/article/view?id=24719> (дата обращения: 05.11.2022).
6. Иванова Г.С. – Технология программирования: учебник / Г.С. Иванова. – 3-е изд., стер. – М. : КНОРУС, 2016. – 334 с. – (Бакалавриат).
7. C4model [Электронный ресурс]. — URL: <https://c4model.com/> (дата обращения: 01.02.2023).
8. Medium — Полиморфизм с интерфейсами в Golang [Электронный ресурс]. — URL: <https://clck.ru/33Vd5g> (дата обращения: 05.02.2023).
9. ReadTheDocs — pyDigitalWaveTools's documentation [Электронный ресурс]. — URL: <https://pydigitalwavetools.readthedocs.io/en/latest/> (дата обращения: 09.02.2023).



10. WaveDrom — Hitchhiker's Guide to the WaveDrom [Электронный ресурс]. — URL: <https://wavedrom.com/tutorial.html> (дата обращения: 11.02.2023).
11. Coder Lessons — Тестирование черного и белого ящика [Электронный ресурс]. — URL: <https://coderlessons.com/tutorials/kachestvo-programmnogo-obespecheniia/ruchnoe-testirovanie/chernyi-iashchik-protiv-belaia-korobka> (дата обращения: 01.03.2023).
12. Habr — Рейтинг языков программирования 2021 [Электронный ресурс]. — URL: <https://habr.com/ru/post/543346/> (дата обращения: 07.03.2023).
13. Software Testing Help — Top 6 BEST Python Testing Frameworks [Электронный ресурс]. — URL: <https://www.softwaretestinghelp.com/python-testing-frameworks/> (дата обращения: 14.03.2023).
14. Blog Skillfactory — Pytest [Электронный ресурс]. — URL: <https://blog.skillfactory.ru/glossary/pytest/> (дата обращения: 21.03.2023).
15. Allure Framework — Docs [Электронный ресурс]. — URL: <https://docs.qameta.io/allure/> (дата обращения: 28.03.2023).

**Приложение А**  
Техническое задание  
Листов 10

## **Приложение Б**

**Руководство системного программиста**

**Листов 16**

## **Приложение В**

### **Графический материал**

**Листов 8**

## Приложение Г

Фрагмент кода программы

Листов 8

## Приложение Д

### Исходные коды на языке Verilog

#### Листинг Д.1 — исходный код описания устройства

```
module half_adder(  
    output S,C,  
    input A,B  
);  
xor(S,A,B);  
and(C,A,B);  
endmodule  
  
module full_adder(  
    output S,Cout,  
    input A,B,Cin  
);  
wire s1,c1,c2;  
half_adder HA1(s1,c1,A,B);  
half_adder HA2(S,c2,s1,Cin);  
or OG1(Cout,c1,c2);  
  
endmodule  
  
module ripple_adder_4bit(  
    output [3:0] Sum,  
    output Cout,  
    input [3:0] A,B,  
    input Cin  
);  
wire c1,c2,c3;  
full_adder FA1(Sum[0],c1,A[0],B[0],Cin),  
FA2(Sum[1],c2,A[1],B[1],c1),  
FA3(Sum[2],c3,A[2],B[2],c2),  
FA4(Sum[3],Cout,A[3],B[3],c3);  
  
endmodule
```

## Листинг Д.2 — исходный код тестирующей программы

```
module adder_tb;
// Inputs
reg [3:0] A;
reg [3:0] B;
reg Cin;
// Outputs
wire [3:0] Sum;
wire Cout;
// Instantiate the Unit Under Test (UUT)
ripple_adder_4bit uut (
.Sum(Sum),
.Cout(Cout),
.A(A),
.B(B),
.Cin(Cin)
);
initial begin
// Initialize Inputs
A = 0;
B = 0;
Cin = 0;
// Wait 100 ns for global reset to finish
#100;
// Add stimulus here
A=4'b0001;B=4'b0000;Cin=1'b0;
#10 A=4'b1010;B=4'b0011;Cin=1'b0;
#10 A=4'b1101;B=4'b1010;Cin=1'b1;
end
initial begin
$dumpfile("adder.vcd");
$dumpvars;
end
endmodule
```

## Приложение Е

### Временная диаграмма в формате VCD

#### Листинг Е.1 — пример временной диаграммы в формате VCD

```
$date
    Sun Aug 21 20:24:04 2022
$end
$version
    Icarus Verilog
$end
$timescale
    1s
$end
$scope module adder_tb $end
$var wire 4 ! Sum [3:0] $end
$var wire 1 " Cout $end
$var reg 4 # A [3:0] $end
$var reg 4 $ B [3:0] $end
$var reg 1 % Cin $end
$scope module uut $end
$var wire 4 & A [3:0] $end
$var wire 4 ' B [3:0] $end
$var wire 1 % Cin $end
$var wire 1 ( c3 $end
$var wire 1 ) c2 $end
$var wire 1 * c1 $end
$var wire 4 + Sum [3:0] $end
$var wire 1 " Cout $end
$scope module FA1 $end
$var wire 1 , A $end
$var wire 1 - B $end
$var wire 1 % Cin $end
$var wire 1 * Cout $end
$var wire 1 . s1 $end
$var wire 1 / c2 $end
$var wire 1 0 c1 $end
$var wire 1 1 S $end
$scope module HA1 $end
$var wire 1 , A $end
$var wire 1 - B $end
$var wire 1 0 C $end
```



```

$var wire 1 . S $end
$upscope $end
$scope module HA2 $end
$var wire 1 . A $end
$var wire 1 % B $end
$var wire 1 / C $end
$var wire 1 1 S $end
$upscope $end
$upscope $end
$scope module FA2 $end
$var wire 1 2 A $end
$var wire 1 3 B $end
$var wire 1 * Cin $end
$var wire 1 ) Cout $end
$var wire 1 4 s1 $end
$var wire 1 5 c2 $end
$var wire 1 6 c1 $end
$var wire 1 7 S $end
$scope module HA1 $end
$var wire 1 2 A $end
$var wire 1 3 B $end
$var wire 1 6 C $end
$var wire 1 4 S $end
$upscope $end
$scope module HA2 $end
$var wire 1 4 A $end
$var wire 1 * B $end
$var wire 1 5 C $end
$var wire 1 7 S $end
$upscope $end
$upscope $end
$scope module FA3 $end
$var wire 1 8 A $end
$var wire 1 9 B $end
$var wire 1 ) Cin $end
$var wire 1 ( Cout $end
$var wire 1 : s1 $end
$var wire 1 ; c2 $end
$var wire 1 < c1 $end
$var wire 1 = S $end
$scope module HA1 $end

```

```

$var wire 1 8 A $end
$var wire 1 9 B $end
$var wire 1 < C $end
$var wire 1 : S $end
$upscope $end
$scope module HA2 $end
$var wire 1 : A $end
$var wire 1 ) B $end
$var wire 1 ; C $end
$var wire 1 = S $end
$upscope $end
$upscope $end
$scope module FA4 $end
$var wire 1 > A $end
$var wire 1 ? B $end
$var wire 1 ( Cin $end
$var wire 1 " Cout $end
$var wire 1 @ s1 $end
$var wire 1 A c2 $end
$var wire 1 B c1 $end
$var wire 1 C S $end
$scope module HA1 $end
$var wire 1 > A $end
$var wire 1 ? B $end
$var wire 1 B C $end
$var wire 1 @ S $end
$upscope $end
$scope module HA2 $end
$var wire 1 @ A $end
$var wire 1 ( B $end
$var wire 1 A C $end
$var wire 1 C S $end
$upscope $end
$upscope $end
$upscope $end
$upscope $end
$enddefinitions $end
#0
$dumpvars
0C
0B

```

0A  
0@  
0?  
0>  
0=  
0<  
0;  
0:  
09  
08  
07  
06  
05  
04  
03  
02  
01  
00  
0/  
0.  
0-  
0,  
b0 +  
0\*  
0)  
0(  
b0 '  
b0 &  
0%  
b0 \$  
b0 #  
0"  
b0 !  
\$end  
#100  
b1 !  
b1 +  
11  
1.  
1,  
b1 #

b1 &  
#110  
1=  
1)  
b1101!  
b1101 +  
1C  
16  
1@  
1-  
13  
0,  
12  
1>  
b11 \$  
b11 '  
b1010 #  
b1010 &  
#120  
1(  
1C  
1"  
15  
1)  
0=  
1;  
1\*  
0@  
1B  
14  
06  
1:  
b1000!  
b1000 +  
01  
1/  
0-  
1?  
1,  
02  
18

1%

b1010 \$

b1010 '

b1101 #

b1101 &