



Тема дипломной работы:

Разработка программного обеспечение и методики для эргономической оценки кабины самолета на основе теста психомоторной бдительности, методики PVT и NASA-TLX

Выполнил: студент группы М7О-606С-19
Курнаев Данила Владимирович

Руководитель: к.т.н., доцент, доцент кафедры 703
Киреев Алексей Алексеевич

Консультант: начальник отдела интеграции КБО АО «Туполев»
Кучук Антон Сергеевич

Актуальность дипломной работы

В условиях роста требований к безопасности полетов и эффективности работы пилотов особую актуальность приобретает задача объективной оценки эргономических характеристик кабины самолета. Эргономическая оценка с использованием современных методик, таких как PVT и NASA-TLX, позволяет выявить слабые места во взаимодействии человека и машины, минимизировать влияние человеческого фактора и снизить вероятность ошибок. Разработка системы, обеспечивающей автоматизацию такого анализа, актуальна для повышения надежности авиационных систем и улучшения условий работы экипажа в условиях высокой когнитивной нагрузки.

Цель работы

Целью дипломной работы является разработка программного обеспечения для проведения эргономической оценки кабины самолета. ПО реализует тесты PVT для анализа скорости реакции и психомоторной бдительности пилотов, а также методику NASA-TLX для оценки субъективной рабочей нагрузки. Система обеспечивает автоматизацию сбора данных, их обработку и визуализацию результатов, предоставляя удобный инструмент для анализа когнитивной и физической нагрузки на пилотов.

Задачи работы

- Сформировать требования к системе
- Выбор стека технологий для реализации ПО
- Разработать ключевые модули системы
- Создать графический пользовательский интерфейс
- Обеспечить сохранение и управление данными
- Провести интеграцию разработанной системы со стендом прототипирования
- Провести тестирование разработанного приложения, подтверждающее корректность его работы

Используемые методы оценки эргономики

- **PVT (Psychomotor Vigilance Task):** метод измеряет скорость реакции оператора на визуальные стимулы, что позволяет оценить его психомоторную бдительность и усталость
- **NASA-TLX (Task Load Index):** методика субъективной оценки рабочей нагрузки, которая включает шкалы умственной и физической нагрузки, временного давления и других факторов

Архитектура системы

Приложение построено на основе архитектурного паттерна **MVC (Model-View-Controller)**, который обеспечивает чёткое разделение обязанностей между слоями системы.

Гибкость: Лёгкость добавления новых функций или изменения существующих.

Тестируемость: Возможность тестирования каждого слоя отдельно.

Чёткость структуры: Упрощение поддержки благодаря разделению обязанностей.

Архитектура системы

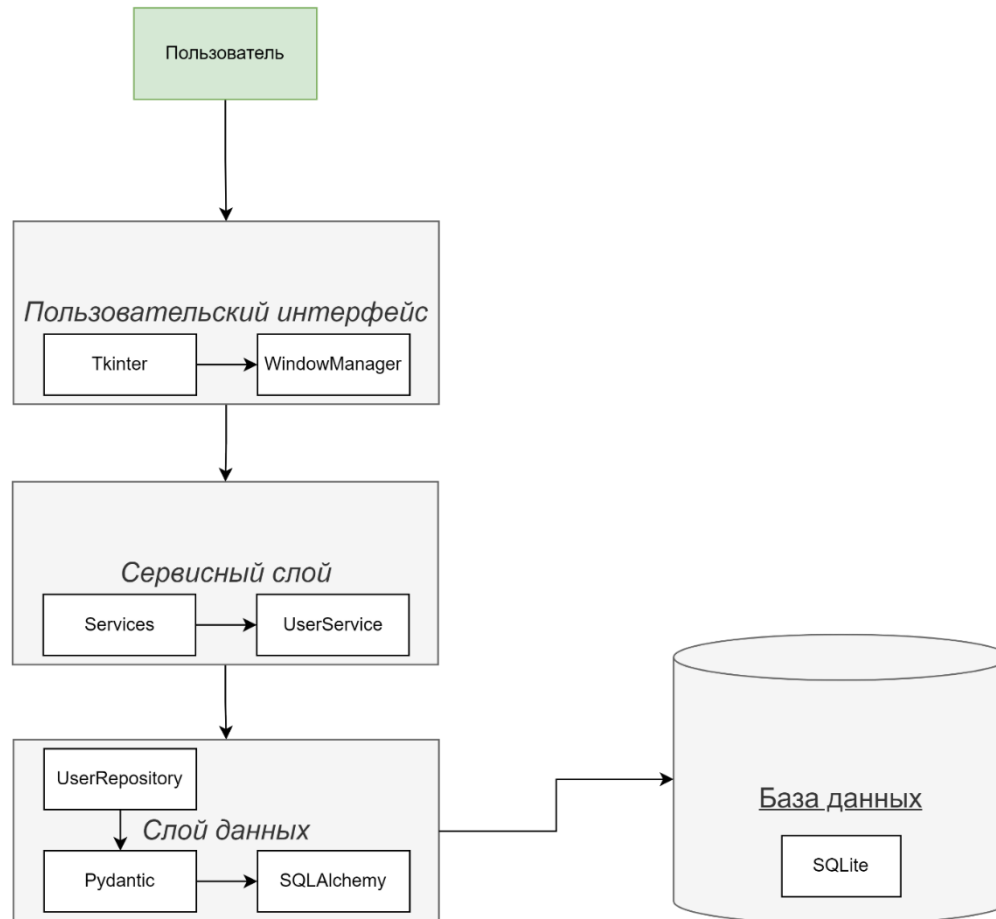


Рисунок 1 - Архитектура приложения на основе MVC

Разработка системы

Python 3.10: Выбран за его универсальность, наличие обширной экосистемы библиотек и удобство для прототипирования.

SQLite: Простая, надёжная реляционная база данных для хранения пользовательских данных и результатов тестов.

SQLAlchemy: ORM (Object Relational Mapping) для работы с базой данных, позволяющая писать код на Python без необходимости написания SQL-запросов.

Tkinter: Инструмент для создания графического интерфейса пользователя, который обеспечивает простоту разработки и кросс-платформенность.

Pydantic: Используется для валидации данных, чтобы гарантировать корректность информации на входе и выходе приложения.

PyInstaller: Сборщик приложения в единый исполняемый файл, позволяющий упаковать все зависимости и сделать программу готовой к запуску без необходимости установки Python.

Реализация теста PVT



Psychomotor Vigilance Test (PVT) оценивает когнитивные способности пользователя.



Пользователь реагирует на случайные визуальные стимулы, время реакции фиксируется.



Этапы проведения:



Генерация случайных стимулов с задержкой 2–5 секунд.



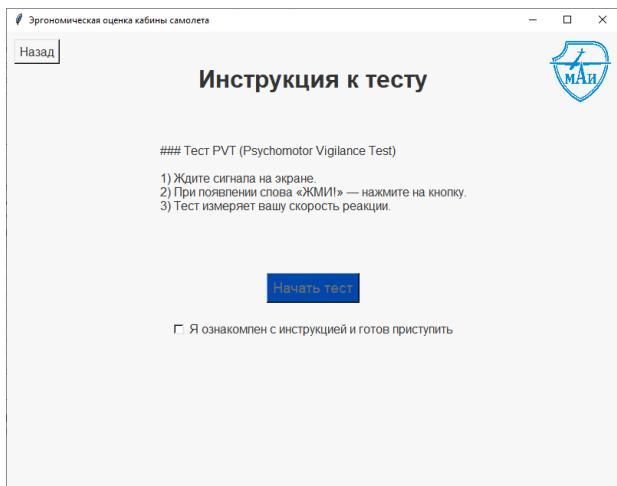
Фиксация времени реакции и сохранение в базе данных.



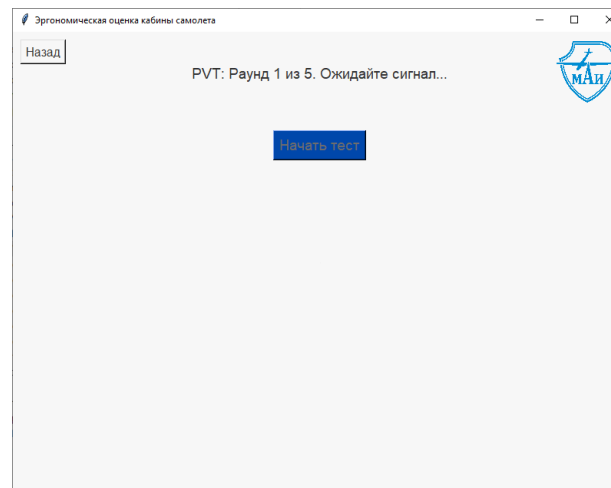
Анализ результатов

Внешний вид кадров прохождения теста PVT

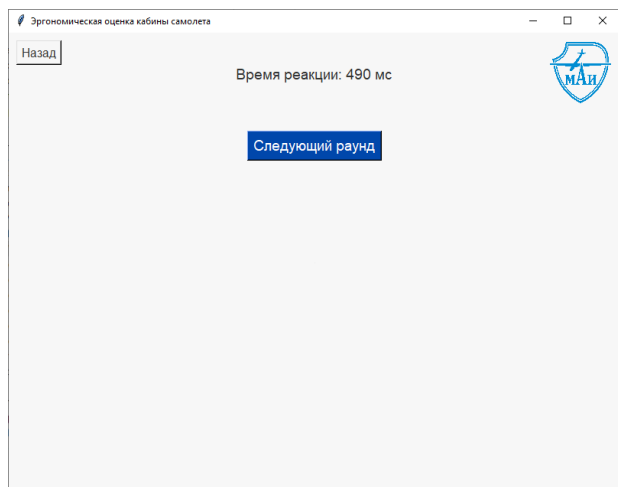
Шаг № 1



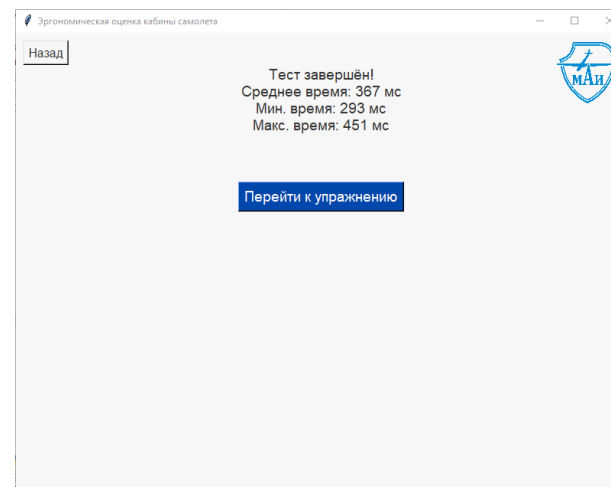
Шаг № 2



Шаг № 3



Шаг № 4



Реализация NASA-TLX

Тест NASA-TLX (Task Load Index) разработан для субъективной оценки рабочей нагрузки, испытываемой пользователем при выполнении задачи. В моём приложении этот тест используется для анализа восприятия нагрузки после выполнения упражнений, что позволяет оценить изменения в умственной и физической нагрузке, а также уровень стресса.

Пользователь вводит субъективные оценки по шести шкалам:

- Умственная нагрузка.
- Физическая нагрузка.
- Временная нагрузка.
- Уровень усилий.
- Уровень стресса (фрустрация).
- Восприятие эффективности выполнения задачи.

Каждая шкала оценивается от 0 (минимальная нагрузка) до 20 (максимальная нагрузка).

Реализация NASA-TLX

После ввода оценок программа предлагает пользователю сравнить важность каждой пары шкал.

Например, пользователь выбирает, что для него более значимо: умственная нагрузка или временные ограничения.

На основе ответов программа рассчитывает веса каждой шкалы, что позволяет учитывать индивидуальные приоритеты пользователя.

$$\text{Weighted TLX} = \frac{\sum_{i=1}^n S_i W_i}{\sum_{i=1}^n W_i}$$

S_i — оценка пользователя по i -й шкале (например, умственная нагрузка, физическая нагрузка и т.д.);

W_i — вес i -й шкалы, полученный в результате парных сравнений;

n — количество шкал (в данном случае $n = 6$);

$\sum_{i=1}^n W_i$ — сумма всех весов для нормализации итогового показателя.

Внешний вид кадров прохождения NASA-TLX

Шаг № 1

Эргономическая оценка кабины самолета

Назад

МАИ

Инструкция к тесту

Тест NASA-TLX (Task Load Index)

Оцените субъективную нагрузку по 6 шкалам...

Начать тест

☐ Я ознакомлен с инструкцией и готов приступить

Шаг № 2

Эргономическая оценка кабины самолета

Отменить тест

МАИ

Mental Demand (Умственная нагрузка)

(0=минимум, 100=максимум)

74

Далее

Шаг № 3

Эргономическая оценка кабины самолета

Отменить тест

МАИ

Что было важнее? Mental vs Physical

Mental

Physical

Шаг № 4

Эргономическая оценка кабины самолета

Отменить тест

МАИ

Результаты NASA-TLX:

Ваши оценки (0-100) по шкалам:
Mental: 74, Physical: 50, Temporal: 50,
Performance: 50, Effort: 50, Frustration: 50

Вес каждой шкалы (0..5): [0, 1, 2, 3, 4, 5]

Итоговый Weighted TLX = 50.0 (из 100)

Завершить

Основные результаты дипломной работы

- Сформулированы требования к системе эргономической оценки кабины самолета
- Проведен анализ существующих решений и обоснован выбор стека технологий для реализации тестов PVT и NASA-TLX
- Разработаны ключевые модули системы, включая проведение тестов психомоторной бдительности (PVT) и субъективной оценки рабочей нагрузки (NASA-TLX)
- Создан графический пользовательский интерфейс (GUI), обеспечивающий интуитивно понятное взаимодействие с системой и визуализацию результатов
- Проведено тестирование разработанной системы, подтвердившее корректность ее работы и соответствие поставленным требованиям

Спасибо за внимание!