

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ АВТОНОМНОЕ
ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ
«НАЦИОНАЛЬНЫЙ ИССЛЕДОВАТЕЛЬСКИЙ УНИВЕРСИТЕТ
«ВЫСШАЯ ШКОЛА ЭКОНОМИКИ»

МОСКОВСКИЙ ИНСТИТУТ ЭЛЕКТРОНИКИ И МАТЕМАТИКИ
им. А.Н. ТИХОНОВА

Готовцев Артем Евгеньевич, группа МПМИ 251

ИНДИВИДУАЛЬНОЕ ЗАДАНИЕ

Проектирование системы автоматизации отдела контроля качества
на пивоваренном предприятии. По курсу: Проектирование
информационно-управляющих систем

Руководитель:
профессор
МИЭМ НИУ ВШЭ
Белов А. В.

Москва, 2025

1. Функциональные требования к ИУС

1.1. Подсистема «Входной контроль сырья и материалов»

1. Регистрация партии сырья.

ИУС должна обеспечивать ввод и хранение данных о партиях сырья и материалов (солод, сахар, хмель, дрожжи, пустые бутылки), включая поставщика, дату поставки, объём, вид сырья и уникальный номер партии.

2. Ввод результатов входного контроля.

3. Сравнение с нормативами.

ИУС должна обеспечивать автоматическое сравнение введённых значений с нормативами ГОСТ и ТУ и визуальное выделение параметров, выходящих за допустимые пределы.

4. Присвоение статуса партии сырья.

ИУС должна обеспечивать установку и изменение статуса партии сырья (принята / забракована / условно принята) с фиксацией даты и ответственного лица.

5. Решение о допуске к производству.

ИУС должна фиксировать решение о допуске партии сырья в производство либо о её возврате/утилизации

6. Прослеживаемость партий сырья.

ИУС должна обеспечивать хранение связей между партиями сырья и технологическими партиями пива

1.2. Подсистема «Операционный контроль технологического процесса»

1. Регистрация технологических партий.

ИУС должна обеспечивать регистрацию технологических партий пива на основных этапах производства (варка сусла, брожение, фильтрация, розлив) с указанием связей с партиями сырья.

2. Ввод результатов операционного контроля варки.

ИУС должна обеспечивать ввод и хранение результатов контроля на этапе варки сусла (температурный график, экстрактивность, pH и др.), а также фиксацию времени отбора и обработки проб.

3. Поддержка корректировок на этапе варки.

ИУС должна фиксировать принятие технологических решений по корректировке режима варки (изменение температуры, времени, добавок) в случае выхода контролируемых параметров за допустимые пределы, а также результат этих корректировок (например, достижение требуемой плотности).

4. Операционный контроль последующих этапов.

ИУС должна обеспечивать ввод и хранение результатов операционного контроля на этапах брожения, фильтрации и связанных с ними анализов (физико-химический и микробиологический анализ нефильтрованного и отфильтрованного пива, контроль плотности, давления, скорости фильтрации и т.п.), без моделирования вмешательства в технологию по ходу этих этапов.

5. Формирование истории параметров.

ИУС должна сохранять историю изменений контролируемых параметров для каждой технологической партии с возможностью просмотра динамики по времени.

6. Решения о маршруте партии.

ИУС должна обеспечивать фиксацию решений о дальнейшем маршруте технологической партии по результатам операционного контроля, в том числе:

- допуск партии к переходу на следующую операцию;
- направление партии в отдельную резервную ёмкость («бочка разбирательства») для дальнейшего анализа;
- направление партии на утилизацию;
- использование партии для пива более низкого качества (понижение класса продукции).

7. Решение о переходе к следующей операции.

ИУС должна фиксировать факт и время принятия решения о переходе технологической партии к следующему этапу производства (например, от варки к брожению, от брожения к фильтрации, от фильтрации к розливу).

1.3. Подсистема «Выходной контроль готовой продукции»

1. Регистрация партий готового пива.

ИУС должна обеспечивать учёт партий готового пива, подготовленных к отгрузке, с указанием их происхождения (технологические партии, сорт, дата производства).

2. Учёт выборочного контроля на линии розлива.

ИУС должна обеспечивать учёт факта выборочного контроля на линиях розлива (время отбора, линия, номер партии, ответственный), а также ввод результатов визуального контроля маркировки (этикетки, контрэтикетки, кольеретки) и основных физико-химических параметров пива в бутылке.

3. Формирование удостоверения качества.

ИУС должна обеспечивать формирование и печать «Удостоверения качества» на партию готовой продукции на основании результатов выходного контроля и нормативных требований (ГОСТ, ТУ).

4. Решение о допуске к отгрузке.

ИУС должна фиксировать решение о допуске партии к отгрузке, её задержке или браковке с указанием причины и ответственного лица, а также обеспечивать хранение этой информации для последующего анализа.

1.4. Подсистема «Отчётность и аналитика»

1. Отчёт по входным компонентам.

ИУС должна формировать отчёт «Список входных компонентов, наиболее часто не соответствующих техническим условиям за выбранный период» с группировкой по виду компонента и поставщику.

2. **Отчёт по отбракованным партиям.**

ИУС должна формировать отчёт «Список отбракованных партий пива за период» с разбивкой по сортам, причинам брака, этапам производственного процесса и принятым решениям по маршрутизации (резервная ёмкость, утилизация, понижение качества).

3. **Отчёт по проблемным параметрам.**

ИУС должна формировать отчёт «Пять контролируемых параметров пива, наиболее часто не соответствующих требованиям ГОСТ» за выбранный период.

4. **Фильтрация и экспорт отчётных данных.**

ИУС должна обеспечивать фильтрацию отчётов по периоду, сорту пива, поставщику, параметру, типу решения по партии и экспорт отчётных данных в распространённые форматы (например, XLSX, PDF).

5. **Анализ решений о маршруте партий.**

ИУС должна поддерживать формирование отчётов по решениям о маршрутизации партий (доля партий, допущенных к следующей операции; доля партий, направленных в резервные ёмкости; доля партий, отправленных на утилизацию или понижение качества).

1.5. Общесистемные функции

1. **Управление справочниками.**

ИУС должна поддерживать ведение справочников: виды сырья, сорта пива, контролируемые параметры, нормативы по параметрам, поставщики, типы решений по партиям, линии розлива и др.

2. **Управление пользователями и ролями.**

ИУС должна обеспечивать создание и сопровождение учётных записей пользователей, назначение ролей (лаборант, технолог, начальник отдела качества, администратор) и разграничение прав доступа к данным и операциям.

2. Ключевые показатели эффективности (KPI) бизнес-процессов

Для оценки эффективности автоматизируемых процессов и результата внедрения ИУС устанавливаются следующие ключевые показатели:

1. **Доля партий сырья, прошедших входной контроль без нарушений, %**

Характеризует стабильность качества поставляемого сырья и эффективность входного контроля.

2. **Количество партий, отправленных на утилизацию или понижение качества, за период, ед.**

Показывает относительные потери, связанные с нарушениями технологического режима и недостатками контроля.

3. **Количество рекламаций по качеству пива от потребителей за период, ед.**
Является интегральным показателем качества конечной продукции и работы системы контроля качества в целом.

3. Нефункциональные требования к ИУС

1. **Требования к интерфейсу и удобству использования**
 - интерфейс ИУС должен быть русскоязычным, с единым стилем оформления экранных форм;
 - система должна обеспечивать удобный поиск и фильтрацию записей по номеру партии, сорту пива, этапу производства, типу решения и другим основным реквизитам.
2. **Требования к производительности**
 - время отклика системы при открытии основных форм и сохранении результатов измерений не должно превышать 3 секунд при штатной нагрузке;
 - система должна поддерживать одновременную работу не менее N пользователей (лаборанты, технологи, начальник отдела качества, администратор)
3. **Требования к надёжности и сохранности данных**
 - ИУС должна обеспечивать регулярное резервное копирование базы данных с периодичностью не реже одного раза в сутки;
4. **Требования к безопасности и разграничению доступа**
 - доступ к ИУС должен осуществляться по индивидуальным учётным записям с обязательной аутентификацией пользователей;
5. **Требования к интеграции**
 - ИУС должна обеспечивать обмен данными с учётной системой предприятия (ERP/склад), как минимум в части сведений о поступлении сырья и отгрузке готовой продукции;

4. Информационная архитектура

4.1. Операционная (OLTP) модель данных

Цель: хранить детальные данные по партиям и решениям.

Ключевая идея: **каждый объект имеет свой ID**, а между объектами строится цепочка:

Хмель/солод/и др. сырьё → варка сусла → брожение → фильтрация → розлив/готовая партия

Основные сущности:

1. **RAW_MATERIAL_BATCH** – партия сырья
 - `raw_batch_id` – PK
 - `material_type` (солод/хмель/др.)
 - `supplier_id`
 - `delivery_date`

- `quantity`
- `status` (принята / забракована / условно)
- 2. **BREW_BATCH** – варка сусла
 - `brew_batch_id` – PK
 - `beer_product_id` (планируемый сорт)
 - `brew_date`
 - `linked_raw_batches` (связь n:m через отдельную таблицу BREW_RAW_LINK)
 - `status` (в процессе / в резервной бочке / утилизирована / понижено качество / допущена далее)
- 3. **FERMENTATION_BATCH** – брожение
 - `ferment_batch_id` – PK
 - `brew_batch_id` – FK → BREW_BATCH
 - `start_date, end_date`
 - `status`
- 4. **FILTRATION_BATCH** – фильтрация
 - `filtration_batch_id` – PK
 - `ferment_batch_id` – FK → FERMENTATION_BATCH
 - `status`
- 5. **PACKAGING_BATCH** – розлив / готовая партия
 - `pack_batch_id` – PK
 - `filtration_batch_id` – FK → FILTRATION_BATCH
 - `line_id` (линия розлива)
 - `pack_date`
 - `status` (готова к отгрузке / задержана / забракована)
- 6. **QUALITY_DECISION** – решения по партиям
 - `decision_id` – PK
 - `entity_type` (RAW/BREW/FERM/FILT/PACK)
 - `entity_id`
 - `decision_type` (допуск к следующей операции, резервная бочка, утилизация, понижение качества и т.д.)
 - `decision_datetime`
 - `reason`
 - `user_id`
- 7. **MEASUREMENT_OP** – операционные измерения (сырьё, варка, брожение, фильтрация, розлив)
 - `measurement_id` – PK
 - `entity_type` (RAW/BREW/FERM/FILT/PACK)
 - `entity_id` – FK на соответствующую партию
 - `stage` (входной контроль / варка / брожение / фильтрация / выходной контроль)
 - `parameter_id`
 - `value`

- `unit`
- `norm_min, norm_max`
- `is_out_of_range` (boolean)
- `sample_datetime`
- `lab_user_id`

8. Справочники:

- `PARAMETER` (id, название, единицы, допустимые нормы по сорту/стадии)
- `BEER_PRODUCT` (сорт пива)
- `SUPPLIER, USER, LINE, DECISION_TYPE` и др.

Цепочка идентификаторов:

- одна запись `RAW_MATERIAL_BATCH` может участвовать в нескольких `BREW_BATCH` через `BREW_RAW_LINK`;
- каждый `BREW_BATCH` порождает `FERMENTATION_BATCH`;
- далее `FILTRATION_BATCH` и `PACKAGING_BATCH`;
- все измерения (`MEASUREMENT_OP`) всегда привязаны к конкретной партии и стадии через (`entity_type, entity_id, stage`).

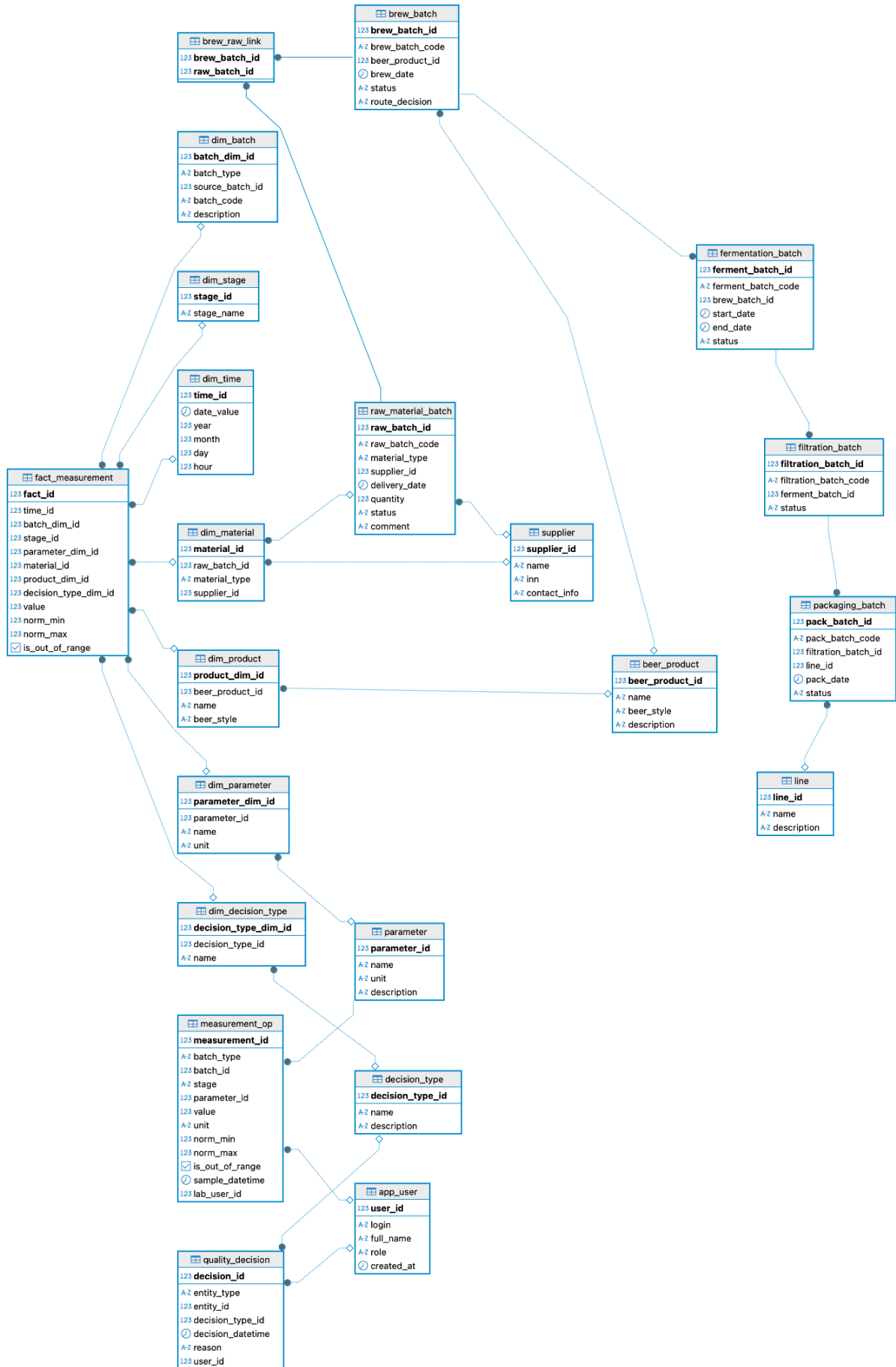
4.2. Аналитическая модель для замеров

Для аналитики и отчётов по требованиям задания делаем небольшую витрину данных в виде **звезды**.

Факт: `FACT_MEASUREMENT`

- `fact_id` – PK
- `time_id` – FK → `DIM_TIME`
- `batch_id` – FK → `DIM_BATCH`
- `stage_id` – FK → `DIM_STAGE`
- `parameter_id` – FK → `DIM_PARAMETER`
- `material_id` – FK → `DIM_MATERIAL` (для входного контроля)
- `product_id` – FK → `DIM_PRODUCT` (для технологических/выходных измерений)
- `decision_type_id` – FK → `DIM_DECISION_TYPE` (решение по партии, если есть)
- `value` – числовое значение
- `norm_min, norm_max`
- `is_out_of_range`

4.3 ERP диаграмма архитектуры



5. Функциональная архитектура

Логические модули:

1. **Модуль входного контроля**
 - регистрация партий сырья/бутылок;
 - ввод измерений (MEASUREMENT_OP с entity_type=RAW);
 - формирование решений о допуске/браке;
 - передача допущенных партий в производство.
2. **Модуль операционного контроля**
 - регистрация технологических партий (BREW, FERMENTATION, FILTRATION);
 - ввод измерений по каждой стадии;
 - фиксация корректировок на стадии варки;
 - фиксация решений о маршрутизации партии (следующий этап / резервная ёмкость / утилизация / понижение качества).
3. **Модуль выходного контроля**
 - учёт партий PACKAGING_BATCH;
 - ввод результатов выборочного контроля;
 - формирование удостоверений качества;
 - решение о допуске к отгрузке.
4. **Модуль отчётности и аналитики**
 - построение отчётов на основе витрины **FACT_MEASUREMENT** (звезда);
 - отчёты по входным компонентам, отбракованным партиям, проблемным параметрам.
5. **Модуль справочников и параметров**
 - ведение параметров, нормативов, сортов, поставщиков.
6. **Модуль управления пользователями и ролями**
 - учётные записи, роли, права.

6. Программно-техническая архитектура

6.1. Развёртывание

- **Сервер приложений и БД** (одна машина):
 - ОС: Linux/Windows (не принципиально);
 - СУБД: PostgreSQL (основная БД: OLTP и витрина данных);
 - Приложение: Python + Streamlit как web-интерфейс;
 - ETL-скрипты (Python) для наполнения витрины **FACT_MEASUREMENT**.
- **Клиентские рабочие места:**
 - Лаборатория, технологи, начальник отдела качества;
 - Доступ к интерфейсу через браузер (<http://quality-app:8501>), где работает Streamlit.

6.2. Логика взаимодействия

1. Пользователь в Streamlit-интерфейсе регистрирует партии и вводит измерения.
2. Приложение пишет данные в PostgreSQL (таблицы OLTP).
3. Периодически (по расписанию) ETL-скрипт агрегирует/копирует измерения из OLTP в витрину **FACT_MEASUREMENT** по схеме звезды.
4. Аналитические страницы Streamlit читают данные уже из витрины (для тяжёлых отчётов) либо из OLTP (для простых таблиц).

6.3. Требования

- резервное копирование БД;
- разграничение прав в БД и в приложении (роль lab/tech/head/admin);
- нормальная LAN между лабораторией, цехом и сервером.

7. Примеры пользовательского интерфейса (Streamlit)

7.1. Партии сырья

- регистрация партий сырья;

Входной контроль: партии сырья

| | | |
|---|-------------------|---------------|
| ID партии сырья | Дата поставки | Статус партии |
| <input type="text"/> | 2025/12/10 | Не проверена |
| Вид сырья | Количество, кг/шт | Комментарий |
| Солод | 0,00 | |
| Поставщик | | |
| <input type="button" value="Сохранить партию"/> | | |

Зарегистрированные партии сырья

| |
|--|
| |
|--|

7.2. Тех.партии и маршрутизация

- регистрация варок и решений о маршруте;

Раздел

Тех.партии и маршру...

Операционный контроль: варка и маршрутизация партии

ID варки (тех.партии)

Использованные партии сырья

Сорт пива

Текущий статус партии

Дата варки

Решение по маршруту партии (кратко)

Сохранить тех.партию

Тех.партии (варка сусла)

7.3. «Измерения»

- привязка измерений к партиям и стадиям (логика звезды);

Раздел

Измерения

Измерения, привязанные к партиям

Тип партии

RAW

ID измерения

Параметр (например, Плотность, pH)

Нижняя граница нормы

ID партии

Значение

Верхняя граница нормы

Стадия

Ед. измерения

Время отбора пробы

Сохранить измерение

Все измерения

7.4. «Отчёты»

- простые отчёты по отклонениям.

Раздел

Отчёты

Аналитические отчёты

Пока нет данных измерений для построения отчётов

8. Техничко-экономическое обоснование проекта

8.1. Цель и исходные предпосылки

Целью проекта является создание и внедрение информационно-управляющей системы (ИУС) контроля качества на пивоваренном предприятии, обеспечивающей:

- партионную прослеживаемость продукции «сырьё → технологические стадии → готовое пиво»;
- снижение доли брака и возвратов;
- ускорение подготовки управленческой отчётности по качеству;
- повышение прозрачности решений по маршрутизации партий (допуск, резервная ёмкость, утилизация, понижение качества).

В исходном состоянии (без автоматизации) контроль качества ведётся в бумажных журналах и электронных таблицах, что приводит к:

- значительным трудозатратам лаборатории на ввод и поиск данных;
- сложностям с восстановлением цепочки партий при рекламациях;
- задержкам при формировании отчётов;
- повышенной вероятности ошибок и запоздалых управленческих решений.

8.2. Метод определения эффективности системы автоматизации

Для оценки эффективности проекта используется:

1. Метод простого срока окупаемости (Payback Period)

Показывает период времени, за который суммарный экономический эффект от внедрения системы сравнивается с первоначальными затратами.

Формула:

$$T_{\text{ок}} = \frac{Z_{\text{инв}}}{\mathcal{E}_{\text{год}}}$$

$T_{\text{ок}}$ – срок окупаемости, лет;

$Z_{\text{инв}}$ – суммарные инвестиционные затраты на создание и внедрение ИУС, руб.;

$\mathcal{E}_{\text{год}}$ – ожидаемый годовой экономический эффект от эксплуатации системы, руб.

2. Дополнительно может оцениваться коэффициент рентабельности инвестиций (ROI):

$$ROI = \frac{\mathcal{E}_{\text{год}}}{Z_{\text{инв}}} \times 100\%$$

8.3. Метрики оценки эффективности внедрения системы

Метрики эффективности непосредственно связаны с KPI, сформулированными для бизнес-процессов контроля качества:

1. Снижение доли партий, отправленных на утилизацию или понижение качества, %

2. Снижение количества рекламаций по качеству пива, ед./год
3. Сокращение трудозатрат персонала лаборатории и отдела качества, чел-час/месяц
4. Сокращение времени подготовки стандартных отчётов по качеству, раз
5. Увеличение доли партий с полной прослеживаемостью, %
6. Снижение количества ошибок учёта и расхождений между журналами и фактическими данными, ед./год

8.4. Оценка ресурсов на разработку и внедрение

8.4.1. Трудозатраты

Предположим, что проект выполняется небольшой внутренней командой или подрядчиком.

| Этап работ | Роль/исполнитель | Трудозатраты, чел-мес. |
|--|----------------------------|------------------------|
| Обследование процессов и детальное проектирование ИУС | Аналитик/архитектор | 1,0 |
| Проектирование БД и информационной архитектуры | Архитектор/разработчик | 0,5 |
| Разработка серверной части и Streamlit-интерфейсов | Разработчик | 2,0 |
| Разработка отчётности и аналитической витрины (звезда) | Разработчик/аналитик | 1,0 |
| Тестирование и опытная эксплуатация | Тестирующий + пользователи | 0,5 |
| Обучение пользователей, документирование | Аналитик/разработчик | 0,5 |

Итого: порядка 5,5 чел-месяцев.

При условной средней стоимости 1 чел-месяца 120 000 руб.:

$$Z_{\text{труд}} = 5,5 * 120000 \sim 660000 \text{ руб}$$

8.4.2. Оборудование и программное обеспечение

Предполагается использование:

- имеющегося серверного оборудования предприятия;
- свободного ПО (PostgreSQL, Python, Streamlit).

Тогда имеем – 150 000 руб.

8.4.4. Общий объём инвестиций

Суммарные затраты:

- трудозатраты разработки и внедрения: ~660 000 руб.;
- серверные ресурсы и настройка: ~150 000 руб.;
- обучение и стартовое сопровождение: ~150 000 руб.

$$Z_{\text{инв}} \sim 660000 + 150000 + 150000 = 960000 \text{руб}$$

Для дальнейшего расчёта округлим до **1 000 000 руб.**

8.5. Расчёт срока окупаемости

8.5.1. Оценка годового экономического эффекта

1. Снижение потерь от брака и понижения качества

Предположим, что до автоматизации среднегодовой объём пива, отправляемого на утилизацию/понижение качества из-за проблем контроля, составлял условно 500 гектолитров в год, с себестоимостью, например, 800 руб./гл.

$$\text{Годовые потери} = 500 * 800 = 400,000 \text{руб}$$

За счёт более строгого и прозрачного контроля и анализа причин отклонений снижение таких потерь хотя бы на 40 % даёт экономию:

$$\text{экономию} = 400,000 * 0.4 = 160,000 \text{руб. в год.}$$

2. Экономия трудозатрат персонала

Допустим, до внедрения 2 сотрудника лаборатории и 1 специалист отдела качества суммарно тратили около 40 часов в месяц на ручное ведение журналов, перенос данных и подготовку отчётов. При автоматизации систематических операций (ввод в структуру + автоотчёты) эта нагрузка снижается, допустим, до 10 часов в месяц.

$$\text{Экономия времени} = (40 - 10) * 12 = 360 \text{ чел-час/год}$$

При условной стоимости 1 чел-часа 800 руб. ~112000руб в месяц ссылаясь на [Документ росстат.](#)

$$\text{Экономия стоимости труда} = 360 * 800 = 288,000 \text{руб. в год.}$$

3. Прочий эффект (снижение риска штрафов/рекламаций, ускорение принятия решений, имиджевый эффект) трудно оценить напрямую, но даже консервативно можно заложить:

$$\text{Экономия проч.} \sim 100000 \text{руб в год.}$$

Тогда суммарный годовой экономический эффект:

$$\text{Суммарная экономия} = 160,000 + 288,000 + 100,000 = \mathbf{548\,000\text{ руб./год.}}$$

8.5.2. Срок окупаемости и рентабельность

Используем оценку общих инвестиций 1,000,000 руб. и годового эффекта 548,000 руб

$$T_{\text{окупаемости}} = \frac{1000000}{548000} = \mathbf{1.82\text{года}}$$

Коэффициент рентабельности инвестиций:

$$ROI = \frac{548,000}{1,000,000} \times 100\% = \mathbf{40\% \text{ в год}}$$

Таким образом, при принятых допущениях ориентировочный **срок окупаемости проекта составляет 2,5 года**, а годовая рентабельность инвестиций — порядка **55 %**, что является приемлемым показателем для проектов автоматизации уровня подразделения.

8.6. Выводы по ТЭО

- Проект ИУС контроля качества требует ориентировочных инвестиций порядка **1 млн руб.** с учётом разработки, настройки инфраструктуры, обучения и стартового сопровождения.
- За счёт снижения потерь от брака и понижения качества, сокращения трудозатрат персонала и повышения качества управленческой информации ожидаемый годовой экономический эффект оценивается на уровне **~550 тыс. руб. в год.**
- При таких параметрах проект окупается приблизительно за **1.8 года** и имеет годовую рентабельность порядка **55 %**.
- Помимо количественного эффекта, система обеспечивает выполнение требований ISO 9000 по прослеживаемости партий, повышает управляемость процессов контроля качества и снижает риски, связанные с рекламациями и нарушением нормативов.