

**Программное обеспечение CyberStudio – платформа для
предиктивной аналитики оборудования и оптимизации режимов
технологических процессов
v 3.20.0**

Программа и методика испытаний (функциональное тестирование)

Таблица 1.

История изменений

Версия	Дата	Комментарий	Автор
1	07.04.2026	Первая версия документа	Гавриленков С.И.

СОДЕРЖАНИЕ

1	Глоссарий	9
1.1	Используемые термины.....	9
1.2	Используемые сокращения	10
1.3	Используемые обозначения	10
2	Назначение документа	11
3	Объект испытаний	11
4	Средства и порядок испытаний.....	11
4.1	Технические и программные средства.....	11
4.2	Порядок проведения испытаний.....	11
5	Описание тестового набора данных	12
5.1	Объект моделирования	12
5.2	Перечень параметров	12
5.3	Временная структура набора данных.....	13
5.4	Аномалия 1: Износ рабочего колеса (дни 46–60)	13
5.5	Аномалия 2: Дефект подшипника (дни 61–65)	14
5.6	Капитальный ремонт и изменение характеристик (дни 66–72).....	14
5.7	Физические модели генерации данных	15
6	Глоссарий	15
6.1	Используемые термины.....	15
6.2	Используемые сокращения	16
6.3	Используемые обозначения	17
7	Назначение документа	18
8	Объект испытаний	18
9	Средства и порядок испытаний.....	18
9.1	Технические и программные средства.....	18
9.2	Порядок проведения испытаний.....	18
10	Описание тестового набора данных	18
10.1	Объект моделирования	19
10.2	Перечень параметров	19
10.3	Временная структура набора данных.....	20
10.4	Аномалия 1: Износ рабочего колеса (дни 46–60)	20
10.5	Аномалия 2: Дефект подшипника (дни 61–65)	21
10.6	Капитальный ремонт и изменение характеристик (дни 66–72).....	21

10.7	Физические модели генерации данных	22
11	Создание тегов платформы.....	22
11.1	Начальные условия	22
11.2	Действия.....	23
11.3	Ожидаемые результаты	23
11.4	Справочные данные	23
12	Создание ретроспективного источника данных	23
12.1	Начальные условия	23
12.2	Действия.....	24
12.3	Ожидаемые результаты	24
13	Создание и проверка виртуальных тегов	24
13.1	Начальные условия	24
13.2	Действия.....	24
13.3	Ожидаемые результаты	25
13.4	Справочные данные	25
14	Создание групп тегов	25
14.1	Начальные условия	26
14.2	Действия.....	26
14.3	Ожидаемые результаты	26
15	Импорт тегов из файла.....	26
15.1	Начальные условия	26
15.2	Действия.....	26
15.3	Ожидаемые результаты	27
16	Подключение внешнего источника данных реального времени	27
16.1	Начальные условия	27
16.2	Действия.....	27
16.3	Ожидаемые результаты	28
17	Создание структуры проекта.....	28
17.1	Начальные условия	28
17.2	Действия.....	28
17.3	Ожидаемые результаты	29
18	Создание структуры моделей и картирование параметров	29
18.1	Начальные условия	29
18.2	Действия.....	29
18.3	Ожидаемые результаты	30

18.4	Справочные данные	30
19	Автоматическое определение оптимальной архитектуры модели (AutoML)	31
19.1	Начальные условия	31
19.2	Действия.....	31
19.3	Ожидаемые результаты	32
19.4	Справочные данные	32
20	Настройка чувствительности модели (автоподбор границ ИС)	32
20.1	Начальные условия	32
20.2	Действия.....	32
20.3	Ожидаемые результаты	33
20.4	Справочные данные	33
21	Создание физико-математической модели напора	33
21.1	Начальные условия	33
21.2	Действия.....	33
21.3	Ожидаемые результаты	34
21.4	Справочные данные	34
22	Создание регрессионной модели мощности (no-code)	35
22.1	Начальные условия	35
22.2	Действия.....	35
22.3	Ожидаемые результаты	36
23	Прогонка моделей и анализ результатов на данных с аномалиями	36
23.1	Начальные условия	36
23.2	Действия.....	36
23.3	Ожидаемые результаты	37
23.4	Справочные данные	37
24	Дообучение модели после капитального ремонта	37
24.1	Начальные условия	37
24.2	Действия.....	38
24.3	Ожидаемые результаты	38
24.4	Справочные данные	38
25	Копирование (дублирование) модели	38
25.1	Начальные условия	39
25.2	Действия.....	39
25.3	Ожидаемые результаты	39
26	Создание правила по параметрам (no-code) для выявления износа рабочего колеса...	39

26.1 Начальные условия	40
26.2 Действия.....	40
26.3 Ожидаемые результаты	40
26.4 Справочные данные	41
27 Создание правила по критериям (low-code) для выявления дефекта подшипника	41
27.1 Начальные условия	41
27.2 Действия.....	41
27.3 Ожидаемые результаты	42
27.4 Справочные данные	42
28 Проверка библиотеки шаблонов	42
28.1 Начальные условия	42
28.2 Действия.....	42
28.3 Ожидаемые результаты	43
29 Пополнение библиотеки шаблонов	43
29.1 Начальные условия	43
29.2 Действия.....	43
29.3 Ожидаемые результаты	44
30 Создание мнемосхем насоса Н-101.....	44
30.1 Начальные условия	44
30.2 Действия.....	44
30.3 Ожидаемые результаты	45
31 Настройка рабочих режимов	45
31.1 Начальные условия	45
31.2 Действия.....	45
31.3 Ожидаемые результаты	46
32 Запуск мониторинга и расчёт комплексного индекса состояния	46
32.1 Начальные условия	46
32.2 Действия.....	46
32.3 Ожидаемые результаты	47
32.4 Справочные данные	47
33 Прогнозирование остаточного ресурса	47
33.1 Начальные условия	47
33.2 Действия.....	48
33.3 Ожидаемые результаты	48
34 Просмотр исторических данных мониторинга и настройка групп графиков	48

34.1 Начальные условия	49
34.2 Действия.....	49
34.3 Ожидаемые результаты	49
35 Формирование уведомлений при выявлении аномалий.....	50
35.1 Начальные условия	50
35.2 Действия.....	50
35.3 Ожидаемые результаты	50
35.4 Справочные данные	51
36 Взаимодействие пользователя с уведомлениями CyberStudio.....	51
36.1 Начальные условия	51
36.2 Действия.....	51
36.3 Ожидаемые результаты	52
37 Настройка автоматического создания процесса по шаблону.....	52
37.1 Начальные условия	52
37.2 Действия.....	52
37.3 Ожидаемые результаты	53
38 Формирование отчёта по событиям.....	53
38.1 Начальные условия	53
38.2 Действия.....	53
38.3 Ожидаемые результаты	54
39 Онбординг — от авторизации через Keuscloak до работы в проекте	54
39.1 Начальные условия	54
39.2 Действия.....	54
39.3 Ожидаемые результаты	55
40 Построение организационной структуры — пространство, проект, пользователи.....	55
40.1 Начальные условия	55
40.2 Действия.....	55
40.3 Ожидаемые результаты	56
41 Разграничение прав ролей на уровне пространства	56
41.1 Начальные условия	56
41.2 Действия.....	56
41.3 Ожидаемые результаты	56
42 Разграничение прав ролей на уровне проекта	56
42.1 Начальные условия	57
42.2 Действия.....	57

42.3	Ожидаемые результаты	57
43	Управление доступами к сервисам и проверка их применения.....	57
43.1	Начальные условия	57
43.2	Действия.....	57
43.3	Ожидаемые результаты	58
44	Удаление пользователя из проекта — каскад последствий	58
44.1	Начальные условия	58
44.2	Действия.....	58
44.3	Ожидаемые результаты	59
45	Изоляция данных между пространствами и проектами	59
45.1	Начальные условия	59
45.2	Действия.....	59
45.3	Ожидаемые результаты	59

1 ГЛОССАРИЙ

1.1 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕРМИНЫ

Таблица 2.

Используемые термины

Термин	Определение
Блок прогноза	Расчётный объект CyberStudio, обеспечивающий прогнозирование значений индекса состояния и расчёт остаточного ресурса на основе линейной регрессии по историческим данным ИС
Виртуальный тег	Расчётный (производный) параметр платформы, значение которого вычисляется по формуле или при помощи программного кода на основе значений других тегов платформы
Дашборд	Пользовательская форма визуализации (мнемосхема), создаваемая в сервисе дизайна мнемосхем и отображаемая в сервисе мониторинга
Дообучение	Процедура обновления (переобучения) модели на актуальных данных с сохранением предыдущей версии. Применяется при изменении характеристик оборудования (например, после капитального ремонта)
Индекс состояния	Безразмерный показатель (от 0 до 1), характеризующий техническое состояние оборудования. Значение 1 соответствует исправному состоянию, 0 — критическому отклонению. Рассчитывается на уровне тегов, моделей, неисправностей, узлов и сборок
Картирование	Процедура установления связей между тегами модели (входными и выходными) и тегами платформы в сервисе дизайна проекта
Неисправность	Расчётный объект CyberStudio, описывающий дефект или деградиационный процесс оборудования. Содержит одно или несколько правил (по параметрам или по критериям), определяющих условия срабатывания
Правило по критериям	Тип правила неисправности, в котором пользователь задаёт математическое выражение (формулу), связывающее входные параметры в единый критерий (low-code подход)
Правило по параметрам	Тип правила неисправности, в котором пользователь выбирает параметры и задаёт направление отклонения и пороговые значения через интерфейс без программирования (no-code подход)
Прогонка	Ретроспективный расчёт модели или неисправности на заданном временном интервале исторических данных с целью анализа результатов и настройки параметров
Пространство	Организационная единица верхнего уровня в CyberStudio, объединяющая проекты и пользователей. Обеспечивает изоляцию данных между подразделениями
Рабочий режим	Набор условий (по значениям тегов платформы), определяющих, в какие периоды времени выполняется расчёт моделей. Позволяет исключить периоды остановок оборудования из расчёта
Разладка	Отклонение фактического значения параметра от расчётного (модельного) значения. Используется для оценки индекса состояния и выявления аномалий
Сборка	Объект верхнего уровня иерархии оборудования в сервисе дизайна проекта, соответствующий единице оборудования или установке
Тег платформы	Именованный параметр в CyberStudio, которому соответствует временной ряд данных. Может быть реальным (данные поступают из внешнего источника) или виртуальным (значение рассчитывается)
Узел	Объект иерархии оборудования, вложенный в сборку. Соответствует подсистеме или функциональному блоку оборудования (например, «Проточная часть», «Подшипниковый узел»)
Шаблон модели	Сохранённая структура модели (наименование, входные и выходные теги), доступная для повторного использования при создании новых моделей
Шаблон события	Предварительно настроенный набор атрибутов предупреждающего сообщения (описание, возможные причины, рекомендации, приоритет), формируемого при срабатывании неисправности

1.2 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

Таблица 3.

Используемые сокращения

Сокращение	Расшифровка
AutoML	Automated Machine Learning — автоматический подбор гиперпараметров модели
CSV	Comma-Separated Values — текстовый формат хранения табличных данных
IDP	Identity Provider — сервис управления учётными записями и аутентификацией пользователей
ISO 10816	Международный стандарт, определяющий допустимые уровни вибрации вращающихся машин
MLP	Multilayer Perceptron — многослойный перцептрон (тип нейронной сети)
PHYS	Тип модели в CyberStudio — физико-математическая модель с идентифицируемыми коэффициентами
R ²	Коэффициент детерминации — метрика качества регрессионной модели (от 0 до 1)
ReLU	Rectified Linear Unit — функция активации нейронной сети
SEC	Specific Energy Consumption — удельное энергопотребление (обратная величина КПД)
БДВР	База данных временных рядов
ЕО	Единица оборудования
ИС	Индекс состояния
КПД	Коэффициент полезного действия
ПиМИ	Программа и методика испытаний
ПО	Программное обеспечение
ПР	Проектное решение
СБЛ	Сервис бизнес-логики
СДМ	Сервис дизайна мнемосхем
СДП	Сервис дизайна проекта
СИ	Сервис исторический
СКЗ	Среднеквадратическое значение (для виброскорости)
СМД	Сервис моделирования
ССД	Сервис сбора данных
ТОиР	Техническое обслуживание и ремонт
ФТТ	Функциональные и технические требования

1.3 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Таблица 4.

Используемые обозначения

Обозначение	Описание	Единицы измерения
n	Частота вращения вала насоса	об/мин
n ₀	Номинальная частота вращения (2950)	об/мин
Q	Объёмный расход	м ³ /ч
Q ₀	Номинальный расход (80)	м ³ /ч
H	Напор насоса (виртуальный тег)	м
H ₀	Номинальный напор (45)	м
P	Потребляемая мощность насоса	кВт
P _{inlet}	Давление на входе в насос (избыточное)	бар
P _{outlet}	Давление на выходе из насоса (избыточное)	бар
P _{mech0}	Базовые механические потери	кВт
T _{brg}	Температура подшипника	°C
T _{oil}	Температура масла на входе в подшипник	°C
T _{amb}	Температура окружающей среды	°C
V _{brg}	Вибрация подшипника (СКЗ виброскорости)	мм/с
ν (v)	Кинематическая вязкость перекачиваемой среды	сСт
ρ (ρ)	Плотность перекачиваемой среды	кг/м ³
g	Ускорение свободного падения (9.81)	м/с ²

Обозначение	Описание	Единицы измерения
η	Коэффициент полезного действия насоса	—
η_0	Номинальный КПД	—
K_H	Поправочный коэффициент на вязкость (для напора)	—
k_1, k_2, k_3	Идентифицируемые коэффициенты напорной характеристики	—
δ_{wear}	Коэффициент деградации рабочего колеса (0–0.20)	—
δ_{brg}	Коэффициент деградации подшипника (0–1.0)	—
δ_{vib}	Коэффициент роста вибрации при дефекте подшипника ($= 1.5 \times \delta_{brg}$)	—
SEC	Удельное энергопотребление ($= 1/\eta$)	—
R^2	Коэффициент детерминации (метрика качества модели)	—

2 НАЗНАЧЕНИЕ ДОКУМЕНТА

В документе описана последовательность испытаний для установления соответствия ПО CyberStudio функциональным и техническим требованиям. Описан объект испытаний, методы испытаний (начальные условия, действия и ожидаемые результаты), а также средства и порядок испытаний.

3 ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ

Объектом испытаний является ПО CyberStudio — программная платформа для мониторинга технического состояния промышленного оборудования методами предиктивной аналитики, классификации дефектов и визуализации показателей технического состояния.

Область применения ПО CyberStudio: сбор данных, предиктивная диагностика технического состояния оборудования, визуализация показателей технического состояния.

4 СРЕДСТВА И ПОРЯДОК ИСПЫТАНИЙ

4.1 ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА

Испытания проводятся на тестовой площадке, отвечающей требованиям целевой технической архитектуры ПО CyberStudio. При испытаниях используется набор синтетических данных (описание приведено ниже).

4.2 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Описания испытаний по каждому пункту приведены в разделе «Методы испытаний». Для каждого описания необходимо обеспечить условия, указанные в пункте «Начальные условия».

Затем выполнить действия, указанные в пункте «Действия».

Результат выполнения действий должен соответствовать ожидаемым результатам, описанным в пункте «Ожидаемые результаты».

В случае соответствия результата ожидаемому в протокол заносится отметка «Пройдено» или «Пройдено с замечанием».

В противном случае в протокол заносится отметка «Не пройдено», фиксируются замечания, которые предъявляются на последующих испытаниях.

5 ОПИСАНИЕ ТЕСТОВОГО НАБОРА ДАННЫХ

Для проведения испытаний подготовлен синтетический набор данных, моделирующий работу центробежного насоса Н-101.

Набор данных включает периоды нормальной эксплуатации, развития двух независимых неисправностей, капитального ремонта и послеремонтной эксплуатации с изменёнными характеристиками оборудования.

Все значения параметров рассчитаны по физическим моделям (уравнения подобия центробежных насосов, тепловой баланс подшипникового узла) с добавлением реалистичного измерительного шума.

Генерация выполнена с фиксированным начальным состоянием генератора случайных чисел ($\text{seed} = 42$), что обеспечивает полную воспроизводимость набора данных.

Использование синтетического набора данных с заранее известными аномалиями позволяет задать детерминированные ожидаемые результаты для каждого сценария испытаний.

5.1 ОБЪЕКТ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Центробежный насос Н-101 — одноступенчатый, с приводом от электродвигателя через муфту. Подшипниковый узел оснащён принудительной масляной смазкой с охлаждением. Назначение — перекачивание углеводородного конденсата переменной вязкости.

Паспортные данные насоса приведены в Таблице 14.

Таблица 5.

Паспортные данные насоса Н-101

Параметр	Обозначение	Значение	Единицы
Номинальные обороты	n_0	2950	об/мин
Номинальный расход	Q_0	80	м³/ч
Номинальный напор	H_0	45	м
Номинальный КПД	η_0	0.75	—
Номинальная мощность	P_0	~13	кВт
Базовые механические потери	P_{mech0}	1.5	кВт
Давление на входе (типовое)	P_{inlet}	2.0–3.5	бар (изб.)
Давление на выходе (типовое)	P_{outlet}	5.5–8.0	бар (изб.)
Температура масла смазки (типовая)	T_{oil}	35–50	°C

5.2 ПЕРЕЧЕНЬ ПАРАМЕТРОВ

Набор данных содержится в файле `pump_H101_synthetic_data.csv` (формат CSV, разделитель — точка с запятой, кодировка UTF-8, такт записи — 1 минута). Перечень параметров приведён в Таблице 15.

Таблица 6.

Перечень параметров тестового набора данных

№	Столбец	Описание	Ед. изм.	Тип тега
1	timestamp	Дата и время измерения	ISO 8601	—
2	n	Частота вращения вала	об/мин	Реальный
3	Q	Объёмный расход	м³/ч	Реальный
4	P_{inlet}	Давление на входе (избыточное)	бар	Реальный
5	P_{outlet}	Давление на выходе (избыточное)	бар	Реальный

№	Столбец	Описание	Ед. изм.	Тип тега
6	H	Напор	м	Виртуальный (формула)
7	P	Потребляемая мощность	кВт	Реальный
8	nu	Кинематическая вязкость среды	сСт	Реальный
9	rho	Плотность среды	кг/м³	Реальный
10	T_brg	Температура подшипника	°C	Реальный
11	T_oil	Температура масла на входе в подшипник	°C	Реальный
12	T_amb	Температура окружающей среды	°C	Реальный
13	V_brg	Вибрация подшипника (СКЗ виброскорости)	мм/с	Реальный

Напор H является виртуальным (расчётным) тегом и вычисляется по формуле: $H = (P_{outlet} - P_{inlet}) \times 10^5 / (\rho \times g)$. При настройке тестового проекта в CyberStudio теги P_inlet и P_outlet загружаются как реальные теги платформы, а H настраивается как виртуальный тег.

5.3 ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА НАБОРА ДАННЫХ

Набор данных разбит на семь последовательных участков, приведённых в Таблице 16.

Таблица 7.

Временная структура тестового набора данных

№	Участок	Дни	Длительность	Назначение в ПиМИ	Состояние оборудования	Характеристики насоса
1	Обучение	1–30	30 дней	Обучение моделей	Исправное	Исходные
2	Тестирование	31–45	15 дней	Тестирование моделей, автоподбор границ ИС	Исправное	Исходные
3	Аномалия 1	46–60	15 дней	Прогонка моделей и неисправностей, прогнозирование	Износ рабочего колеса	Исходные + деградация
4	Аномалия 2	61–65	5 дней	Прогонка неисправностей, мониторинг	+ дефект подшипника	Исходные + деградация
5	Капремонт	66–72	7 дней	—	Насос выключен	—
6	Дообучение	73–86	14 дней	Дообучение моделей после ремонта	Исправное	Новые
7	Тест после ремонта	87–102	16 дней	Тестирование дообученных моделей	Исправное	Новые

Помимо семи основных участков, в наборе данных присутствуют штатные кратковременные остановки насоса ($n = 0$): 3–4 остановки длительностью 2–6 часов на участках 1–2, а также по одной остановке на участках 6 и 7. Остановки используются для проверки работоспособности рабочих режимов.

5.4 АНОМАЛИЯ 1: ИЗНОС РАБОЧЕГО КОЛЕСА (ДНИ 46–60)

Физический смысл: увеличение зазора между рабочим колесом и корпусом насоса вследствие эрозионного износа. Приводит к внутренним перетечкам и снижению напора.

Деградация моделируется линейной функцией: коэффициент износа δ_{wear} нарастает от 0 до 0.20 (20% потери напора) за 15 дней. Влияние аномалии на параметры набора данных приведено в Таблице 17.

Таблица 8.

Влияние аномалии 1 на параметры набора данных

Параметр	Влияние	Характер
H (напор)	Снижение до 20%	Линейная деградация
P_outlet (давление на выходе)	Снижение (следствие снижения H)	Линейная деградация
P (мощность)	Косвенный рост	Снижение КПД при той же задаче
Q (расход)	Небольшое смещение рабочей точки	Следствие изменения характеристики
T_brg, V_brg	Не затронуты	Аномалия 1 не влияет на подшипник

5.5 АНОМАЛИЯ 2: ДЕФЕКТ ПОДШИПНИКА (ДНИ 61–65)

Физический смысл: начальная стадия разрушения сепаратора подшипника качения. Проявляется ростом вибрации (ранний индикатор) и ростом температуры подшипника (запаздывающий индикатор).

Деградация моделируется двумя функциями: коэффициент дефекта подшипника δ_brg нарастает от 0 до 1.0 за 5 дней, коэффициент роста вибрации $\delta_vib = 1.5 \times \delta_brg$ (вибрация растёт в 1.5 раза быстрее). Влияние аномалии на параметры приведено в Таблице 18.

Аномалия 2 развивается на фоне уже полностью развитой аномалии 1 (к 61-му дню износ рабочего колеса достиг 20%). Это позволяет продемонстрировать независимость двух неисправностей и корректность агрегации индекса состояния по уровням иерархии.

Таблица 9.

Влияние аномалии 2 на параметры набора данных

Параметр	Влияние	Характер
V_brg (вибрация)	Рост примерно в 2.5 раза (до ~7 мм/с)	Ранний индикатор, растёт быстрее температуры
T_brg (температура подшипника)	Рост на ~15°C выше нормы	Запаздывающий индикатор
P (мощность)	Небольшой рост	Повышенное трение в подшипнике
H, Q	Не затронуты дополнительно	Сохраняется влияние аномалии 1

5.6 КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ И ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК (ДНИ 66–72)

На участке капремонта насос полностью остановлен на 7 дней. Моделируется замена рабочего колеса и подшипника. В отличие от штатных остановок, при капремонте трубопровод дренируется (давления P_inlet и P_outlet снижаются до нуля за 2 часа), маслосистема полностью выключена (T_oil остывает до T_amb).

После ремонта установлены новое рабочее колесо (другой поставщик) и новый подшипник, что приводит к изменению характеристик насоса. Все функции деградации сброшены в ноль (оборудование исправно). Сравнение характеристик до и после ремонта приведено в Таблице 19.

Таблица 10.

Изменение характеристик насоса после капитального ремонта

Параметр	Обозначение	До ремонта	После ремонта	Изменение
Максимальный напор	a ₁	60.0	58.0	–3.3%
Коэффициент наклона характеристики	a ₂	0.07	0.065	–7.1%
Коэффициент кривизны характеристики	a ₃	0.0012	0.0011	–8.3%

Параметр	Обозначение	До ремонта	После ремонта	Изменение
Номинальный КПД	η_0	0.75	0.77	+2.7%
Базовая вибрация	V_0	2.8 мм/с	2.2 мм/с	-21.4%
Нагрев подшипника от трения	c_1	18 °C	15 °C	-16.7%

Изменение характеристик означает, что модели, обученные на данных до ремонта (участок 1), будут показывать систематическую ошибку на данных после ремонта (участки 6–7). Это является основанием для сценария дообучения моделей.

5.7 ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГЕНЕРАЦИИ ДАННЫХ

Значения параметров в наборе данных рассчитаны по следующим физическим моделям.

Напорная характеристика. Напор определяется по уравнениям подобия центробежных насосов с поправкой на вязкость перекачиваемой среды. Формула включает три идентифицируемых коэффициента (k_1 , k_2 , k_3), определяющих форму напорной кривой, и поправочный коэффициент K_H , снижающий напор при увеличении вязкости. При вязкости 15 сСт снижение напора составляет ~7% относительно воды.

Мощность. Потребляемая мощность рассчитывается как сумма гидравлической мощности (делённой на КПД) и механических потерь. КПД зависит от вязкости среды и положения рабочей точки относительно оптимального расхода. Механические потери пропорциональны оборотам в степени 1.5 и увеличиваются при дефекте подшипника.

Температура подшипника. Моделируется на основе теплового баланса: равновесная температура определяется температурой масла на входе (T_{oil}), базовым нагревом от трения (пропорционален квадрату оборотов), нагревом от нагрузки и аномальным нагревом при дефекте. Динамика учитывается через экспоненциальное сглаживание с постоянной времени 20 минут.

Температура масла. Определяется работой системы маслоохлаждения: зависит от температуры окружающей среды (маслоохладитель не идеален) и нагрузки на насос. При остановке остывает к температуре окружающей среды с постоянной времени 30 минут.

Вибрация подшипника. Базовый уровень вибрации пропорционален оборотам. При дефекте подшипника уровень вибрации растёт быстрее, чем температура (коэффициент 1.5), что соответствует физике: вибрация является ранним индикатором дефекта подшипника.

Режимные параметры и свойства среды. Частота вращения переключается между семью уставками (2000–2950 об/мин) с плавными переходами. Расход определяется пересечением характеристик насоса и сети. Вязкость и плотность среды варьируются синусоидально (период 7 дней), имитируя изменение состава перекачиваемого конденсата. Температура окружающей среды включает сезонную и суточную составляющие.

6 ГЛОССАРИЙ

6.1 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ТЕРМИНЫ

Таблица 11.

Используемые термины

Термин	Определение
Блок прогноза	Расчётный объект CyberStudio, обеспечивающий прогнозирование значений индекса состояния и расчёт остаточного ресурса на основе линейной регрессии по

Термин	Определение
	историческим данным ИС
Виртуальный тег	Расчётный (производный) параметр платформы, значение которого вычисляется по формуле или при помощи программного кода на основе значений других тегов платформы
Дашборд	Пользовательская форма визуализации (мнемосхема), создаваемая в сервисе дизайна мнемосхем и отображаемая в сервисе мониторинга
Дообучение	Процедура обновления (переобучения) модели на актуальных данных с сохранением предыдущей версии. Применяется при изменении характеристик оборудования (например, после капитального ремонта)
Индекс состояния	Безразмерный показатель (от 0 до 1), характеризующий техническое состояние оборудования. Значение 1 соответствует исправному состоянию, 0 — критическому отклонению. Рассчитывается на уровне тегов, моделей, неисправностей, узлов и сборок
Картирование	Процедура установления связей между тегами модели (входными и выходными) и тегами платформы в сервисе дизайна проекта
Неисправность	Расчётный объект CyberStudio, описывающий дефект или деградиационный процесс оборудования. Содержит одно или несколько правил (по параметрам или по критериям), определяющих условия срабатывания
Правило по критериям	Тип правила неисправности, в котором пользователь задаёт математическое выражение (формулу), связывающее входные параметры в единый критерий (low-code подход)
Правило по параметрам	Тип правила неисправности, в котором пользователь выбирает параметры и задаёт направление отклонения и пороговые значения через интерфейс без программирования (no-code подход)
Прогонка	Ретроспективный расчёт модели или неисправности на заданном временном интервале исторических данных с целью анализа результатов и настройки параметров
Пространство	Организационная единица верхнего уровня в CyberStudio, объединяющая проекты и пользователей. Обеспечивает изоляцию данных между подразделениями
Рабочий режим	Набор условий (по значениям тегов платформы), определяющих, в какие периоды времени выполняется расчёт моделей. Позволяет исключить периоды остановок оборудования из расчёта
Разладка	Отклонение фактического значения параметра от расчётного (модельного) значения. Используется для оценки индекса состояния и выявления аномалий
Сборка	Объект верхнего уровня иерархии оборудования в сервисе дизайна проекта, соответствующий единице оборудования или установке
Тег платформы	Именованный параметр в CyberStudio, которому соответствует временной ряд данных. Может быть реальным (данные поступают из внешнего источника) или виртуальным (значение рассчитывается)
Узел	Объект иерархии оборудования, вложенный в сборку. Соответствует подсистеме или функциональному блоку оборудования (например, «Проточная часть», «Подшипниковый узел»)
Шаблон модели	Сохранённая структура модели (наименование, входные и выходные теги), доступная для повторного использования при создании новых моделей
Шаблон события	Предварительно настроенный набор атрибутов предупреждающего сообщения (описание, возможные причины, рекомендации, приоритет), формируемого при срабатывании неисправности

6.2 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ СОКРАЩЕНИЯ

Таблица 12.

Используемые сокращения

Сокращение	Расшифровка
AutoML	Automated Machine Learning — автоматический подбор гиперпараметров модели
CSV	Comma-Separated Values — текстовый формат хранения табличных данных
IDP	Identity Provider — сервис управления учётными записями и аутентификацией пользователей
ISO 10816	Международный стандарт, определяющий допустимые уровни вибрации вращающихся машин
MLP	Multilayer Perceptron — многослойный перцептрон (тип нейронной сети)

Сокращение	Расшифровка
PHYS	Тип модели в CyberStudio — физико-математическая модель с идентифицируемыми коэффициентами
R ²	Коэффициент детерминации — метрика качества регрессионной модели (от 0 до 1)
ReLU	Rectified Linear Unit — функция активации нейронной сети
SEC	Specific Energy Consumption — удельное энергопотребление (обратная величина КПД)
БДВР	База данных временных рядов
ЕО	Единица оборудования
ИС	Индекс состояния
КПД	Коэффициент полезного действия
ПиМИ	Программа и методика испытаний
ПО	Программное обеспечение
ПР	Проектное решение
СБЛ	Сервис бизнес-логики
СДМ	Сервис дизайна мнемосхем
СДП	Сервис дизайна проекта
СИ	Сервис исторический
СКЗ	Среднеквадратическое значение (для виброскорости)
СМД	Сервис моделирования
ССД	Сервис сбора данных
ТОиР	Техническое обслуживание и ремонт
ФТТ	Функциональные и технические требования

6.3 ИСПОЛЬЗУЕМЫЕ ОБОЗНАЧЕНИЯ

Таблица 13.

Используемые обозначения

Обозначение	Описание	Единицы измерения
n	Частота вращения вала насоса	об/мин
n ₀	Номинальная частота вращения (2950)	об/мин
Q	Объёмный расход	м ³ /ч
Q ₀	Номинальный расход (80)	м ³ /ч
H	Напор насоса (виртуальный тег)	м
H ₀	Номинальный напор (45)	м
P	Потребляемая мощность насоса	кВт
P _{inlet}	Давление на входе в насос (избыточное)	бар
P _{outlet}	Давление на выходе из насоса (избыточное)	бар
P _{mech0}	Базовые механические потери	кВт
T _{brg}	Температура подшипника	°C
T _{oil}	Температура масла на входе в подшипник	°C
T _{amb}	Температура окружающей среды	°C
V _{brg}	Вибрация подшипника (СКЗ виброскорости)	мм/с
ν (ν)	Кинематическая вязкость перекачиваемой среды	сСт
ρ (ρ)	Плотность перекачиваемой среды	кг/м ³
g	Ускорение свободного падения (9.81)	м/с ²
η	Коэффициент полезного действия насоса	—
η ₀	Номинальный КПД	—
K _H	Поправочный коэффициент на вязкость (для напора)	—
k ₁ , k ₂ , k ₃	Идентифицируемые коэффициенты напорной характеристики	—
δ _{wear}	Коэффициент деградации рабочего колеса (0–0.20)	—
δ _{brg}	Коэффициент деградации подшипника (0–1.0)	—
δ _{vib}	Коэффициент роста вибрации при дефекте подшипника (= 1.5 × δ _{brg})	—
SEC	Удельное энергопотребление (= 1/η)	—
R ²	Коэффициент детерминации (метрика качества модели)	—

7 НАЗНАЧЕНИЕ ДОКУМЕНТА

В документе описана последовательность испытаний для установления соответствия ПО CyberStudio функциональным и техническим требованиям. Описан объект испытаний, методы испытаний (начальные условия, действия и ожидаемые результаты), а также средства и порядок испытаний.

8 ОБЪЕКТ ИСПЫТАНИЙ

Объектом испытаний является ПО CyberStudio — программная платформа для мониторинга технического состояния промышленного оборудования методами предиктивной аналитики, классификации дефектов и визуализации показателей технического состояния.

Область применения ПО CyberStudio: сбор данных, предиктивная диагностика технического состояния оборудования, визуализация показателей технического состояния.

9 СРЕДСТВА И ПОРЯДОК ИСПЫТАНИЙ

9.1 ТЕХНИЧЕСКИЕ И ПРОГРАММНЫЕ СРЕДСТВА

Испытания проводятся на тестовой площадке, отвечающей требованиям целевой технической архитектуры ПО CyberStudio. При испытаниях используется набор синтетических данных (описание приведено ниже).

9.2 ПОРЯДОК ПРОВЕДЕНИЯ ИСПЫТАНИЙ

Описания испытаний по каждому пункту приведены в разделе «Методы испытаний». Для каждого описания необходимо обеспечить условия, указанные в пункте «Начальные условия».

Затем выполнить действия, указанные в пункте «Действия».

Результат выполнения действий должен соответствовать ожидаемым результатам, описанным в пункте «Ожидаемые результаты».

В случае соответствия результата ожидаемому в протокол заносится отметка «Пройдено» или «Пройдено с замечанием».

В противном случае в протокол заносится отметка «Не пройдено», фиксируются замечания, которые предъявляются на последующих испытаниях.

10 ОПИСАНИЕ ТЕСТОВОГО НАБОРА ДАННЫХ

Для проведения испытаний подготовлен синтетический набор данных, моделирующий работу центробежного насоса Н-101.

Набор данных включает периоды нормальной эксплуатации, развития двух независимых неисправностей, капитального ремонта и послеремонтной эксплуатации с изменёнными характеристиками оборудования.

Все значения параметров рассчитаны по физическим моделям (уравнения подобия центробежных насосов, тепловой баланс подшипникового узла) с добавлением реалистичного измерительного шума.

Генерация выполнена с фиксированным начальным состоянием генератора случайных чисел (seed = 42), что обеспечивает полную воспроизводимость набора данных.

Использование синтетического набора данных с заранее известными аномалиями позволяет задать детерминированные ожидаемые результаты для каждого сценария испытаний.

10.1 ОБЪЕКТ МОДЕЛИРОВАНИЯ

Центробежный насос Н-101 — одноступенчатый, с приводом от электродвигателя через муфту. Подшипниковый узел оснащён принудительной масляной смазкой с охлаждением. Назначение — перекачивание углеводородного конденсата переменной вязкости.

Паспортные данные насоса приведены в Таблице 14.

Таблица 14.

Паспортные данные насоса Н-101

Параметр	Обозначение	Значение	Единицы
Номинальные обороты	n_0	2950	об/мин
Номинальный расход	Q_0	80	м³/ч
Номинальный напор	H_0	45	м
Номинальный КПД	η_0	0.75	—
Номинальная мощность	P_0	~13	кВт
Базовые механические потери	P_{mech0}	1.5	кВт
Давление на входе (типовое)	P_{inlet}	2.0–3.5	бар (изб.)
Давление на выходе (типовое)	P_{outlet}	5.5–8.0	бар (изб.)
Температура масла смазки (типовая)	T_{oil}	35–50	°C

10.2 ПЕРЕЧЕНЬ ПАРАМЕТРОВ

Набор данных содержится в файле pump_H101_synthetic_data.csv (формат CSV, разделитель — точка с запятой, кодировка UTF-8, такт записи — 1 минута). Перечень параметров приведён в Таблице 15.

Таблица 15.

Перечень параметров тестового набора данных

№	Столбец	Описание	Ед. изм.	Тип тега
1	timestamp	Дата и время измерения	ISO 8601	—
2	n	Частота вращения вала	об/мин	Реальный
3	Q	Объёмный расход	м³/ч	Реальный
4	P_{inlet}	Давление на входе (избыточное)	бар	Реальный
5	P_{outlet}	Давление на выходе (избыточное)	бар	Реальный
6	H	Напор	м	Виртуальный (формула)
7	P	Потребляемая мощность	кВт	Реальный
8	nu	Кинематическая вязкость среды	сСт	Реальный
9	rho	Плотность среды	кг/м³	Реальный
10	T_{brg}	Температура подшипника	°C	Реальный
11	T_{oil}	Температура масла на входе в подшипник	°C	Реальный
12	T_{amb}	Температура окружающей среды	°C	Реальный
13	V_{brg}	Вибрация подшипника (СКЗ виброскорости)	мм/с	Реальный

Напор H является виртуальным (расчётным) тегом и вычисляется по формуле: $H = (P_{outlet} - P_{inlet}) \times 10^5 / (\rho \times g)$. При настройке тестового проекта в CyberStudio теги P_{inlet} и P_{outlet} загружаются как реальные теги платформы, а H настраивается как виртуальный тег.

10.3 ВРЕМЕННАЯ СТРУКТУРА НАБОРА ДАННЫХ

Набор данных разбит на семь последовательных участков, приведённых в Таблице 16.

Таблица 16.

Временная структура тестового набора данных

№	Участок	Дни	Длительность	Назначение в ПиМИ	Состояние оборудования	Характеристики насоса
1	Обучение	1–30	30 дней	Обучение моделей	Исправное	Исходные
2	Тестирование	31–45	15 дней	Тестирование моделей, автоподбор границ ИС	Исправное	Исходные
3	Аномалия 1	46–60	15 дней	Прогонка моделей и неисправностей, прогнозирование	Износ рабочего колеса	Исходные + деградация
4	Аномалия 2	61–65	5 дней	Прогонка неисправностей, мониторинг	+ дефект подшипника	Исходные + деградация
5	Капремонт	66–72	7 дней	—	Насос выключен	—
6	Дообучение	73–86	14 дней	Дообучение моделей после ремонта	Исправное	Новые
7	Тест после ремонта	87–102	16 дней	Тестирование дообученных моделей	Исправное	Новые

Помимо семи основных участков, в наборе данных присутствуют штатные кратковременные остановки насоса ($n = 0$): 3–4 остановки длительностью 2–6 часов на участках 1–2, а также по одной остановке на участках 6 и 7. Остановки используются для проверки работоспособности рабочих режимов.

10.4 АНОМАЛИЯ 1: ИЗНОС РАБОЧЕГО КОЛЕСА (ДНИ 46–60)

Физический смысл: увеличение зазора между рабочим колесом и корпусом насоса вследствие эрозионного износа. Приводит к внутренним перетечкам и снижению напора.

Деградация моделируется линейной функцией: коэффициент износа δ_{wear} нарастает от 0 до 0.20 (20% потери напора) за 15 дней. Влияние аномалии на параметры набора данных приведено в Таблице 17.

Таблица 17.

Влияние аномалии 1 на параметры набора данных

Параметр	Влияние	Характер
H (напор)	Снижение до 20%	Линейная деградация
P _{outlet} (давление на выходе)	Снижение (следствие снижения H)	Линейная деградация
P (мощность)	Косвенный рост	Снижение КПД при той же задаче
Q (расход)	Небольшое смещение рабочей точки	Следствие изменения характеристики
T _{brg} , V _{brg}	Не затронуты	Аномалия 1 не влияет на подшипник

10.5 АНОМАЛИЯ 2: ДЕФЕКТ ПОДШИПНИКА (ДНИ 61–65)

Физический смысл: начальная стадия разрушения сепаратора подшипника качения. Проявляется ростом вибрации (ранний индикатор) и ростом температуры подшипника (запаздывающий индикатор).

Деградация моделируется двумя функциями: коэффициент дефекта подшипника δ_{brg} нарастает от 0 до 1.0 за 5 дней, коэффициент роста вибрации $\delta_{\text{vib}} = 1.5 \times \delta_{\text{brg}}$ (вибрация растёт в 1.5 раза быстрее). Влияние аномалии на параметры приведено в Таблице 18.

Аномалия 2 развивается на фоне уже полностью развитой аномалии 1 (к 61-му дню износ рабочего колеса достиг 20%). Это позволяет продемонстрировать независимость двух неисправностей и корректность агрегации индекса состояния по уровням иерархии.

Таблица 18.

Влияние аномалии 2 на параметры набора данных

Параметр	Влияние	Характер
V_brg (вибрация)	Рост примерно в 2.5 раза (до ~7 мм/с)	Ранний индикатор, растёт быстрее температуры
T_brg (температура подшипника)	Рост на ~15°C выше нормы	Запаздывающий индикатор
P (мощность)	Небольшой рост	Повышенное трение в подшипнике
H, Q	Не затронуты дополнительно	Сохраняется влияние аномалии 1

10.6 КАПИТАЛЬНЫЙ РЕМОНТ И ИЗМЕНЕНИЕ ХАРАКТЕРИСТИК (ДНИ 66–72)

На участке капремонта насос полностью остановлен на 7 дней. Моделируется замена рабочего колеса и подшипника. В отличие от штатных остановок, при капремонте трубопровод дренируется (давления P_{inlet} и P_{outlet} снижаются до нуля за 2 часа), маслосистема полностью выключена (T_{oil} остывает до T_{amb}).

После ремонта установлены новое рабочее колесо (другой поставщик) и новый подшипник, что приводит к изменению характеристик насоса. Все функции деградации сброшены в ноль (оборудование исправно). Сравнение характеристик до и после ремонта приведено в Таблице 19.

Таблица 19.

Изменение характеристик насоса после капитального ремонта

Параметр	Обозначение	До ремонта	После ремонта	Изменение
Максимальный напор	a_1	60.0	58.0	-3.3%
Коэффициент наклона характеристики	a_2	0.07	0.065	-7.1%
Коэффициент кривизны характеристики	a_3	0.0012	0.0011	-8.3%
Номинальный КПД	η_0	0.75	0.77	+2.7%
Базовая вибрация	V_0	2.8 мм/с	2.2 мм/с	-21.4%
Нагрев подшипника от трения	c_1	18 °C	15 °C	-16.7%

Изменение характеристик означает, что модели, обученные на данных до ремонта (участок 1), будут показывать систематическую ошибку на данных после ремонта (участки 6–7). Это является основанием для сценария дообучения моделей.

10.7 ФИЗИЧЕСКИЕ МОДЕЛИ ГЕНЕРАЦИИ ДАННЫХ

Значения параметров в наборе данных рассчитаны по следующим физическим моделям.

Напорная характеристика. Напор определяется по уравнениям подобия центробежных насосов с поправкой на вязкость перекачиваемой среды. Формула включает три идентифицируемых коэффициента (k_1 , k_2 , k_3), определяющих форму напорной кривой, и поправочный коэффициент K_H , снижающий напор при увеличении вязкости. При вязкости 15 сСт снижение напора составляет $\sim 7\%$ относительно воды.

Мощность. Потребляемая мощность рассчитывается как сумма гидравлической мощности (делённой на КПД) и механических потерь. КПД зависит от вязкости среды и положения рабочей точки относительно оптимального расхода. Механические потери пропорциональны оборотам в степени 1.5 и увеличиваются при дефекте подшипника.

Температура подшипника. Моделируется на основе теплового баланса: равновесная температура определяется температурой масла на входе (T_{oil}), базовым нагревом от трения (пропорционален квадрату оборотов), нагревом от нагрузки и аномальным нагревом при дефекте. Динамика учитывается через экспоненциальное сглаживание с постоянной времени 20 минут.

Температура масла. Определяется работой системы маслоохлаждения: зависит от температуры окружающей среды (маслоохладитель не идеален) и нагрузки на насос. При остановке остывает к температуре окружающей среды с постоянной времени 30 минут.

Вибрация подшипника. Базовый уровень вибрации пропорционален оборотам. При дефекте подшипника уровень вибрации растёт быстрее, чем температура (коэффициент 1.5), что соответствует физике: вибрация является ранним индикатором дефекта подшипника.

Режимные параметры и свойства среды. Частота вращения переключается между семью уставками (2000–2950 об/мин) с плавными переходами. Расход определяется пересечением характеристик насоса и сети. Вязкость и плотность среды варьируются синусоидально (период 7 дней), имитируя изменение состава перекачиваемого конденсата. Температура окружающей среды включает сезонную и суточную составляющие.

11 СОЗДАНИЕ ТЕГОВ ПЛАТФОРМЫ

Сценарий проверяет возможность создания тегов платформы вручную и путём импорта из файла. В рамках испытания создаётся один тег вручную с заполнением всех атрибутов, затем выполняется массовый импорт оставшихся тегов из подготовленного файла формата .xlsx. По итогам проверяется общее количество тегов и корректность их атрибутов.

11.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101».
- Подготовлен файл импорта тегов в формате .xlsx, содержащий 10 тегов с заполненными атрибутами.

11.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в раздел «Справочник сигналов и данных» (ССД) проекта «Насосная установка Н-101».
2. Нажать «Создать тег» и заполнить атрибуты вручную:
 - 2.1 Имя: `n`
 - 2.2 Тип данных: `float`
 - 2.3 Тип тега: Реальный
 - 2.4 Порог: `1.0`
 - 2.5 Описание: «Частота вращения вала, об/мин»
 - 2.6 Аннотации: `ЕИ = об/мин`
3. Сохранить тег и убедиться, что он отображается в списке.
4. Нажать «Импорт» и загрузить подготовленный файл `.xlsx` с 10 тегами.
5. Подтвердить импорт.
6. Убедиться, что в списке отображается 11 тегов (1 созданный вручную + 10 импортированных).
7. Открыть карточку одного из импортированных тегов (например, `Q`) и проверить соответствие атрибутов данным из файла импорта.

11.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Тег `n` успешно создан вручную, все атрибуты сохранены корректно.
- 10 тегов импортированы из файла без ошибок.
- Общее количество тегов в проекте — 11.
- Атрибуты импортированного тега (имя, тип данных, тип тега, порог, аннотации, описание) соответствуют данным из файла импорта.

11.4 СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 20.

Пример строки файла импорта тегов

Имя	Тип данных	Тип тега	Порог	Аннотации	Описание
Q	float	Реальный	0.1	[{"name": "ЕИ", "value": "м³/ч"}]	Объёмный расход
T_brg	float	Реальный	0.05	[{"name": "ЕИ", "value": "°C"}]	Температура подшипника
V_brg	float	Реальный	0.05	[{"name": "ЕИ", "value": "мм/с"}]	Вибрация подшипника (СКЗ)

12 СОЗДАНИЕ РЕТРОСПЕКТИВНОГО ИСТОЧНИКА ДАННЫХ

Сценарий проверяет возможность создания ретроспективного источника данных из CSV-файла, сопоставления столбцов файла с тегами платформы и верификации загруженных данных в историческом сервисе.

12.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.

- В проекте «Насосная установка Н-101» создано 11 тегов платформы (см. предыдущий сценарий).
- Подготовлен файл синтетических данных `pump_H101_synthetic_data.csv`, содержащий временные ряды по 10 физическим параметрам.

12.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в раздел «Справочник сигналов и данных» (ССД) проекта.
2. Выбрать «Создать источник данных» → тип «Ретроспективный».
3. Загрузить файл `pump_H101_synthetic_data.csv`.
4. На этапе маппинга сопоставить 10 столбцов файла с соответствующими тегами платформы (все теги, кроме виртуального тега `n`, который будет создан позднее).
5. Подтвердить загрузку и дождаться завершения импорта данных.
6. Перейти к просмотру исторических данных и выбрать один из загруженных тегов.
7. Убедиться, что данные отображаются на графике за ожидаемый временной диапазон.

12.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Ретроспективный источник данных успешно создан.
- 10 столбцов файла сопоставлены с тегами платформы без ошибок.
- Данные загружены в исторический сервис и доступны для просмотра.
- Временной диапазон и значения данных соответствуют содержимому исходного CSV-файла.

13 СОЗДАНИЕ И ПРОВЕРКА ВИРТУАЛЬНЫХ ТЕГОВ

Сценарий проверяет возможность создания виртуальных тегов двух типов — формульного (Formula) и кодового (Code). Виртуальные теги вычисляются на основе значений реальных тегов платформы и позволяют получать расчётные параметры без подключения дополнительных источников данных.

13.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- В проекте «Насосная установка Н-101» созданы теги платформы и загружены ретроспективные данные (см. предыдущие сценарии).
- Доступны теги: `P_inlet`, `P_outlet`, `rho`, `P`, `Q`.

13.2 ДЕЙСТВИЯ

13.2.1 СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ТЕГА `n` (ТИП FORMULA)

1. Перейти в раздел «Справочник сигналов и данных» (ССД) проекта.
2. Нажать «Создать тег» и выбрать тип тега «Виртуальный».
3. Задать имя тега: `n`.
4. Выбрать метод вычисления: Formula.

5. Ввести формулу: $(P_{outlet} - P_{inlet}) \times 100000 / (\rho \times 9.81)$.

~~6.1.~~ Указать описание: «Напор насоса, м».

~~7.2.~~ Добавить аннотацию: $EI = m$.

~~8.3.~~ Сохранить тег.

~~9.4.~~ Перейти к просмотру исторических данных тега n .

~~10.5.~~ Убедиться, что вычисленные значения находятся в ожидаемом диапазоне 30–50 м.

13.2.2 СОЗДАНИЕ ВИРТУАЛЬНОГО ТЕГА SEC (ТИП CODE)

1. Нажать «Создать тег» и выбрать тип тега «Виртуальный».
2. Задать имя тега: SEC.
3. Выбрать метод вычисления: Code.
4. Ввести код Python-функции, реализующей расчёт удельного энергопотребления с защитой от деления на ноль.
5. Указать описание: «Удельное энергопотребление, кВт·ч/(м³·м)».
6. Добавить аннотацию: $EI = \text{кВт} \cdot \text{ч} / (\text{м}^3 \cdot \text{м})$.
7. Сохранить тег.
8. Перейти к просмотру исторических данных тега SEC.
9. Убедиться, что значения вычисляются корректно и отсутствуют ошибки деления на ноль.

13.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Виртуальный тег n создан, значения вычисляются по формуле и находятся в диапазоне 30–50 м.
- Виртуальный тег SEC создан, код выполняется без ошибок.
- При нулевых значениях Q или n тег SEC возвращает 0 (защита от деления на ноль).
- Оба виртуальных тега отображаются в списке тегов проекта.

13.4 СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 21.

Описание кода виртуального тега SEC

Элемент	Значение
Входные параметры	P, Q, ρ, H
Выходной параметр	SEC
Логика вычисления	$SEC = P \times 3.6e6 / (\rho \times 9.81 \times Q \times H)$, т.е. $1/\eta$
Защита от деления на ноль	Если $Q = 0$ или $H = 0$, то $SEC = 0$
Физический смысл	Рост SEC указывает на снижение эффективности насоса

14 СОЗДАНИЕ ГРУПП ТЕГОВ

Сценарий проверяет возможность создания групп тегов для логической организации параметров по функциональным узлам оборудования. Группы тегов используются при настройке блоков импорта данных в структуре проекта.

14.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- В проекте «Насосная установка Н-101» созданы все теги платформы, включая виртуальные (всего 13 тегов: n , Q , P_{inlet} , P_{outlet} , P , T_{brg} , T_{oil} , V_{brg} , T_{amb} , ν , ρ , H , SEC).

14.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в раздел «Справочник сигналов и данных» (ССД) проекта.
2. Создать группу тегов «Проточная часть» и включить в неё теги: n , Q , P_{inlet} , P_{outlet} , H , P , ν , ρ .
3. Создать группу тегов «Подшипниковый узел» и включить в неё теги: n , T_{brg} , T_{oil} , V_{brg} , P .
4. Создать группу тегов «Внешние условия» и включить в неё тег: T_{amb} .
5. Создать группу тегов «Диагностика» и включить в неё тег: SEC .
6. Для каждой созданной группы применить фильтр по группе в списке тегов и убедиться, что отображаются только теги, входящие в данную группу.

14.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Создано 4 группы тегов: «Проточная часть» (8 тегов), «Подшипниковый узел» (5 тегов), «Внешние условия» (1 тег), «Диагностика» (1 тег).
- Один тег может входить в несколько групп (например, n и P входят в группы «Проточная часть» и «Подшипниковый узел»).
- Фильтрация по группе корректно отображает только теги, принадлежащие выбранной группе.

15 ИМПОРТ ТЕГОВ ИЗ ФАЙЛА

Сценарий проверяет функцию массового импорта тегов из файла формата .xlsx. Импорт позволяет быстро создать большое количество тегов с заполненными атрибутами без ручного ввода каждого тега.

15.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект в CyberStudio.
- Подготовлен файл импорта в формате .xlsx в соответствии с шаблоном ССД. Файл содержит список тегов с заполненными атрибутами: имя, тип данных, тип тега, порог, аннотации, описание.

15.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в раздел «Справочник сигналов и данных» (ССД) проекта.
2. Нажать кнопку «Импорт».

3. В открывшемся диалоге выбрать подготовленный файл .xlsx.

4.1. Просмотреть предварительный список тегов, распознанных из файла.

5.2. Подтвердить импорт.

6.3. Дождаться завершения операции импорта.

7.4. Проверить, что количество тегов в ССД соответствует количеству строк в файле импорта.

8.5. Открыть карточку нескольких импортированных тегов и сверить атрибуты с данными из исходного файла.

15.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Все теги из файла импортированы без ошибок.
- Количество созданных тегов соответствует количеству записей в файле .xlsx.
- Атрибуты каждого импортированного тега (имя, тип данных, тип тега, порог, аннотации, описание) полностью соответствуют данным из исходного файла.
- При повторном импорте файла с существующими тегами система корректно обрабатывает дубликаты (обновляет или выдаёт предупреждение).

16 ПОДКЛЮЧЕНИЕ ВНЕШНЕГО ИСТОЧНИКА ДАННЫХ РЕАЛЬНОГО ВРЕМЕНИ

Сценарий проверяет возможность создания внешнего источника данных реального времени, получения идентификатора для настройки коннектора и верификации поступления данных.

16.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- В проекте созданы теги платформы.
- Доступен внешний коннектор данных (например, OPC UA коннектор или иной поддерживаемый адаптер), настроенный на передачу данных в CyberStudio.

16.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в раздел «Справочник сигналов и данных» (ССД) проекта.
2. Выбрать «Создать источник данных» → тип «Реального времени».
3. Задать имя источника данных.
4. Сохранить источник и скопировать сгенерированный UUID.
5. В конфигурации внешнего коннектора указать скопированный UUID в качестве идентификатора целевого источника данных CyberStudio.
6. Запустить коннектор и дождаться начала передачи данных.
7. Вернуться в ССД и проверить статус тегов, связанных с источником данных реального времени.
8. Убедиться, что индикатор статуса тегов изменился на зелёный (данные поступают).

16.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Источник данных реального времени успешно создан, UUID сгенерирован.
- После настройки и запуска коннектора данные начинают поступать в CyberStudio.
- Индикатор статуса тегов отображается зелёным цветом, подтверждая активное поступление данных.
- Значения тегов обновляются в реальном времени и доступны для просмотра.

17 СОЗДАНИЕ СТРУКТУРЫ ПРОЕКТА

Сценарий проверяет возможность создания иерархической структуры проекта в разделе «Структура диагностического проекта» (СДП). Структура включает сборку, узлы, модели, неисправности, блоки прогнозов и блоки импорта данных.

17.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- В проекте «Насосная установка Н-101» созданы все теги платформы, виртуальные теги и группы тегов (см. предыдущие сценарии).

17.2 ДЕЙСТВИЯ

17.2.1 СОЗДАНИЕ СБОРКИ И УЗЛОВ

1. Перейти в раздел «Структура диагностического проекта» (СДП).
2. Создать сборку «Насосная установка Н-101».
3. Внутри сборки создать узел «Проточная часть».
4. Внутри сборки создать узел «Подшипниковый узел».

17.2.2 НАПОЛНЕНИЕ УЗЛА «ПРОТОЧНАЯ ЧАСТЬ»

1. Внутри узла «Проточная часть» создать модель «Напор».
2. Создать модель «Мощность».
3. Создать неисправность «Износ рабочего колеса».
4. Создать блок прогноза «Прогноз ИС износа колеса».

17.2.3 НАПОЛНЕНИЕ УЗЛА «ПОДШИПНИКОВЫЙ УЗЕЛ»

1. Внутри узла «Подшипниковый узел» создать модель «Температура подшипника».
2. Создать модель «Вибрация подшипника».
3. Создать неисправность «Дефект подшипника».

17.2.4 ПРИВЯЗКА БЛОКОВ ИМПОРТА ДАННЫХ

1. Добавить блок импорта данных для узла «Проточная часть» и связать его с группой тегов «Проточная часть».
2. Добавить блок импорта данных для узла «Подшипниковый узел» и связать его с группой тегов «Подшипниковый узел».

17.2.5 ПРОВЕРКА НАВИГАЦИИ

1. Свернуть и развернуть элементы иерархии на разных уровнях.
2. Перейти к каждому элементу структуры и убедиться, что он отображается корректно.

17.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Иерархическая структура проекта создана:
 - Сборка «Насосная установка Н-101»
 - Узел «Проточная часть»: 2 модели («Напор», «Мощность»), 1 неисправность («Износ рабочего колеса»), 1 блок прогноза («Прогноз ИС износа колеса»)
 - Узел «Подшипниковый узел»: 2 модели («Температура подшипника», «Вибрация подшипника»), 1 неисправность («Дефект подшипника»)
- Блоки импорта данных привязаны к соответствующим группам тегов.
- Навигация по иерархии работает корректно: элементы сворачиваются и разворачиваются, переход к дочерним элементам осуществляется без ошибок.

18 СОЗДАНИЕ СТРУКТУРЫ МОДЕЛЕЙ И КАРТИРОВАНИЕ ПАРАМЕТРОВ

Сценарий проверяет возможность задания входных и выходных параметров моделей, а также картирования (привязки) параметров модели к тегам платформы. В рамках испытания создаётся структура четырёх моделей насосной установки, после чего каждому параметру модели назначается соответствующий тег платформы из привязанной группы тегов. По итогам проверяется корректность структур, наличие всех 15 связей и отсутствие пустых строк в сводной таблице картирования.

18.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101», в справочнике сигналов присутствуют все необходимые теги.
- Создана структура проекта: узлы «Проточная часть» и «Подшипниковый узел».
- Блоки импорта данных привязаны к соответствующим группам тегов.

18.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Открыть узел «Проточная часть» и создать модель «Напор» со следующей структурой:
 - 1.1 Входные параметры: n , Q , ρ .
 - 1.2 Выходной параметр: h .
2. Создать модель «Мощность» со следующей структурой:
 - 2.1 Входные параметры: n , Q , h , ρ .
 - 2.2 Выходной параметр: P .

3. Открыть узел «Подшипниковый узел» и создать модель «Температура подшипника» со следующей структурой:
 - 3.1 Входные параметры: n , P , T_{oil} .
 - 3.2 Выходной параметр: T_{brg} .
4. Создать модель «Вибрация подшипника» со следующей структурой:
 - 4.1 Входные параметры: n , P .
 - 4.2 Выходной параметр: V_{brg} .
5. Перейти к картированию модели «Напор». Убедиться, что в выпадающем списке доступны только теги из привязанной группы.
6. Назначить каждому параметру модели «Напор» соответствующий тег платформы (4 связи).
7. Повторить картирование для модели «Мощность» (6 связей).
8. Повторить картирование для модели «Температура подшипника» (4 связи).
9. Повторить картирование для модели «Вибрация подшипника» (3 связи) — итого суммарно 15 связей, а именно два тега (n и P) используются в нескольких моделях.
10. Открыть сводную таблицу картирования и убедиться, что все 15 связей отображаются, пустые строки отсутствуют.

18.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Структуры четырёх моделей заданы в соответствии с требуемыми входными и выходными параметрами.
- При картировании в выпадающем списке отображаются только теги из привязанной к блоку импорта группы тегов.
- Установлено 15 связей «параметр модели — тег платформы».
- Сводная таблица картирования не содержит пустых строк; каждому параметру назначен ровно один тег.

18.4 СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 22.

Структура моделей и картирование параметров

Модель	Узел	Параметр модели	Направление	Тег платформы
Напор	Проточная часть	n	Вход	n
Напор	Проточная часть	Q	Вход	Q
Напор	Проточная часть	nu	Вход	nu
Напор	Проточная часть	H	Выход	H
Мощность	Проточная часть	n	Вход	n
Мощность	Проточная часть	Q	Вход	Q
Мощность	Проточная часть	H	Вход	H
Мощность	Проточная часть	nu	Вход	nu
Мощность	Проточная часть	ρ	Вход	ρ
Мощность	Проточная часть	P	Выход	P
Температура подшипника	Подшипниковый узел	n	Вход	n
Температура подшипника	Подшипниковый узел	P	Вход	P
Температура подшипника	Подшипниковый узел	T_{oil}	Вход	T_{oil}

Модель	Узел	Параметр модели	Направление	Тег платформы
Температура подшипника	Подшипниковый узел	T_brg	Выход	T_brg
Вибрация подшипника	Подшипниковый узел	n	Вход	n
Вибрация подшипника	Подшипниковый узел	P	Вход	P
Вибрация подшипника	Подшипниковый узел	V_brg	Выход	V_brg

19 АВТОМАТИЧЕСКОЕ ОПРЕДЕЛЕНИЕ ОПТИМАЛЬНОЙ АРХИТЕКТУРЫ МОДЕЛИ (AUTOML)

Сценарий проверяет функцию автоматического подбора гиперпараметров модели (AutoML). В рамках испытания для модели «Температура подшипника» типа MLP запускается автоматический поиск оптимальной конфигурации с использованием интервальной кросс-валидации. По итогам проверяется количество протестированных конфигураций, корректность выбора лучшей модели и качество предсказания на тестовом наборе данных.

19.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101», структура модели «Температура подшипника» задана и картирована.
- Загружены ретроспективные данные: дни 1–30 (нормальный режим работы).
- Заданы границы области определения для входных и выходного параметров модели.

19.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Открыть модель «Температура подшипника» в узле «Подшипниковый узел».
2. Выбрать тип модели — MLP (многослойный персептрон).
3. Перейти в раздел настроек AutoML и задать параметры поиска согласно таблице @tab:automl_params.
4. Задать интервал обучения: дни 1–25.
5. Задать интервал тестирования: дни 26–30.
6. Задать границы области определения (домен) для каждого входного и выходного параметра модели.
7. Запустить процедуру AutoML.
8. Дождаться завершения всех триалов. Убедиться, что в журнале отображается 20 завершённых конфигураций.
9. Проверить, что лучшая конфигурация выбрана по минимальной ошибке кросс-валидации.
10. Открыть результаты тестирования лучшей модели и зафиксировать значение R^2 на тестовом наборе (дни 26–30).

19.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Процедура AutoML завершена без ошибок, протестировано 20 конфигураций гиперпараметров.
- Лучшая конфигурация автоматически выбрана по минимальной ошибке кросс-валидации.
- Значение R^2 лучшей модели на тестовом наборе данных (дни 26–30) превышает 0.7.
- Результаты всех триалов доступны для просмотра в журнале AutoML, включая значения гиперпараметров и метрик.

19.4 СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 23.

Параметры AutoML

Параметр	Значение	Пояснение
Тип модели	MLP	Фиксирован; AutoML ищет оптимальную архитектуру внутри данного типа
Количество триалов	20	Число тестируемых комбинаций гиперпараметров
Количество фолдов	3	Число фолдов кросс-валидации
Тип кросс-валидации	Интервальная (Time Series)	Хронологическое разбиение без перемешивания

20 НАСТРОЙКА ЧУВСТВИТЕЛЬНОСТИ МОДЕЛИ (АВТОПОДБОР ГРАНИЦ ИС)

Сценарий проверяет функцию автоматического подбора границ индекса состояния (ИС) модели. В рамках испытания для обученной модели «Напор» выполняется автоподбор параметров чувствительности на интервале заведомо исправной работы оборудования (дни 1–45). По итогам проверяется, что подобранные границы обеспечивают отсутствие ложных срабатываний на здоровых данных.

20.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101», модель «Напор» обучена и протестирована.
- Загружены ретроспективные данные: дни 1–45 (нормальный режим работы, дефекты отсутствуют).

20.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Открыть модель «Напор» в узле «Проточная часть».
2. Перейти в раздел настройки чувствительности (границы ИС).
3. Выбрать режим «Автоподбор границ».
4. Задать параметры автоподбора согласно таблице @tab:sensitivity_params.
5. Указать интервал данных для расчёта: дни 1–45.

6. Запустить процедуру автоподбора границ ИС.
7. Дождаться завершения расчёта.
8. Просмотреть график ИС модели на интервале дней 1–45 с подобранными границами.
9. Убедиться, что доля времени с $ИС < 0.9$ не превышает 5%.
10. Убедиться, что на основной части интервала значение ИС близко к 1.

20.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Процедура автоподбора границ ИС завершена без ошибок.
- Границы ИС определены автоматически на основании статистики отклонений на здоровых данных.
- Доля времени, в течение которого $ИС < 0.9$, не превышает 5% от общей длительности интервала.
- На основной части интервала (дни 1–45) значение $ИС \approx 1$, что подтверждает отсутствие ложных срабатываний.

20.4 СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 24.

Параметры автоподбора границ ИС

Параметр	Значение	Пояснение
Окно поиска	7 дней	Временное окно для расчёта статистики отклонений
Допустимые выбросы	5%	Допустимая доля времени с ИС ниже порога
ИС срабатывания	0.9	Пороговое значение индекса состояния
Окно усреднения	600 секунд	Окно сглаживания для расчёта ИС

21 СОЗДАНИЕ ФИЗИКО-МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ НАПОРА

Сценарий проверяет возможность создания модели типа PHYS (физико-математическая) с заданием аналитических формул и идентифицируемых коэффициентов. В рамках испытания для модели «Напор» задаются формулы расчёта на основе законов подобия центробежных насосов с поправкой на вязкость перекачиваемой среды. По итогам проверяется корректность идентификации коэффициентов и качество предсказания на тестовом наборе данных.

21.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101», структура модели «Напор» задана и картирована.
- Загружены ретроспективные данные: дни 1–30 (нормальный режим работы).

21.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Открыть модель «Напор» в узле «Проточная часть».
2. Выбрать тип модели — PHYS (физико-математическая).
3. Назначить переменные формул параметрам модели:

- 3.1 $n \rightarrow \omega$ (частота вращения).
- 3.2 $Q \rightarrow q$ (объёмный расход).
- 3.3 $\nu \rightarrow \nu_{\text{isc}}$ (кинематическая вязкость).
- 3.4 $H \rightarrow h$ (напор — выходной параметр).
4. Ввести формулы расчёта выходного параметра согласно таблице @tab:phys_formulas.
5. Задать начальные приближения идентифицируемых коэффициентов согласно таблице @tab:phys_coeffs.
6. Задать область определения модели согласно таблице @tab:phys_domain.
7. Задать интервал обучения (идентификации коэффициентов): дни 1–25.
8. Задать интервал тестирования: дни 26–30.
9. Запустить процедуру идентификации коэффициентов.
10. Дождаться завершения. Просмотреть найденные значения коэффициентов k_1 , k_2 , k_3 .
11. Открыть результаты тестирования и зафиксировать значение R^2 на тестовом наборе.
12. Просмотреть график «факт — расчёт» и убедиться, что при повышении вязкости наблюдается корректное снижение расчётного напора (поправка K_H).

21.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Модель типа PHYS создана, формулы и коэффициенты заданы через интерфейс CyberStudio без программирования.
- Идентификация коэффициентов завершена без ошибок; найденные значения k_1 , k_2 , k_3 физически интерпретируемы.
- Значение R^2 на тестовом наборе данных (дни 26–30) превышает 0.7.
- На графике «факт — расчёт» при увеличении вязкости наблюдается корректное снижение расчётного напора, что подтверждает работу поправки на вязкость K_H .

21.4 СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 25.

Формулы расчёта выходного параметра модели «Напор»

Выражение	Формула	Пояснение
Поправка на вязкость	$K_H = \max(0.7, 1 - 0.025 \times \max(0, \ln(\nu_{\text{isc}})))$	Упрощённый метод коррекции
Напор	$h = (k_1 \times (\omega/2950)^2 - k_2 \times (\omega/2950) \times q - k_3 \times q^2) \times K_H$	Уравнения подобия с поправкой на вязкость

Таблица 26.

Начальные приближения идентифицируемых коэффициентов

Коэффициент	Начальное приближение	Физический смысл
k_1	60.0	Напор при нулевом расходе и номинальной частоте вращения, м
k_2	0.07	Наклон характеристики по расходу
k_3	0.001	Квадратичная зависимость от расхода

Таблица 27.

Область определения модели «Напор»

Тег	Обозначение	Минимум	Максимум	Единицы
n	omega	1500	3100	об/мин
Q	q	20	120	м ³ /ч
nu	visc	5	30	сСт
H	h	10	65	м

22 СОЗДАНИЕ РЕГРЕССИОННОЙ МОДЕЛИ МОЩНОСТИ (NO-CODE)

Сценарий проверяет возможность создания и обучения регрессионной модели типа MLP с ручным заданием архитектуры через графический интерфейс (без программирования). В рамках испытания для модели «Мощность» задаётся конфигурация нейронной сети, выполняются обучение и тестирование. По итогам проверяется качество предсказания и отсутствие переобучения.

22.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101», структура модели «Мощность» задана и картирована.
- Загружены ретроспективные данные: дни 1–45 (нормальный режим работы).

22.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Открыть модель «Мощность» в узле «Проточная часть».
2. Выбрать тип модели — MLP (многослойный персептрон).
3. Задать архитектуру нейронной сети вручную:
 - 3.1 Количество скрытых слоёв: 2.
 - 3.2 Количество нейронов в каждом слое: 16.
 - 3.3 Функция активации: ReLU.
4. Задать границы области определения (домен) для каждого входного и выходного параметра модели.
5. Задать интервал обучения: дни 1–30.
6. Задать интервал тестирования: дни 31–45.
7. Запустить обучение модели.
8. Дождаться завершения обучения. Проверить, что процесс завершился без ошибок.
9. Открыть результаты тестирования и зафиксировать значение R^2 на тестовом наборе (дни 31–45).
10. Просмотреть график «факт — расчёт» и убедиться в визуальном соответствии кривых.
11. Сравнить значения R^2 на обучающем и тестовом наборах для проверки отсутствия переобучения.

22.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Модель типа MLP сконфигурирована полностью через графический интерфейс CyberStudio без написания программного кода.
- Обучение завершено без ошибок.
- Значение R^2 на тестовом наборе данных (дни 31–45) превышает 0.7.
- Разница R^2 между обучающим и тестовым наборами незначительна, что подтверждает отсутствие переобучения.
- На графике «факт — расчёт» наблюдается визуальная корреляция расчётных и фактических значений мощности.

23 ПРОГОНКА МОДЕЛЕЙ И АНАЛИЗ РЕЗУЛЬТАТОВ НА ДАННЫХ С АНОМАЛИЯМИ

Сценарий проверяет способность обученных моделей обнаруживать аномалии в работе оборудования. В рамках испытания все четыре модели прогоняются на интервале дней 40–65, который включает нормальный участок, период деградации рабочего колеса (износ проточной части) и период развития дефекта подшипника. По итогам проверяется, что каждая модель реагирует только на профильную аномалию и не даёт ложных срабатываний на нормальных данных.

23.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101», все четыре модели обучены и настроены (границы ИС заданы).
- Загружены ретроспективные данные: дни 40–65, включающие:
 - Дни 40–45: нормальный режим работы (дефекты отсутствуют).
 - Дни 46–60: линейная деградация рабочего колеса (износ проточной части).
 - Дни 61–65: дефект подшипника (наложение на продолжающийся износ проточной части).

23.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Открыть модель «Напор» и запустить прогонку на интервале дней 40–65.
2. Открыть модель «Мощность» и запустить прогонку на том же интервале.
3. Открыть модель «Температура подшипника» и запустить прогонку на том же интервале.
4. Открыть модель «Вибрация подшипника» и запустить прогонку на том же интервале.
5. Дождаться завершения всех прогонок.
6. Для каждой модели просмотреть график ИС на интервале дней 40–65.
7. Для каждой модели проанализировать поведение ИС на трёх участках: норма (40–45), износ колеса (46–60), дефект подшипника (61–65).
8. Сопоставить поведение ИС моделей с ожидаемым согласно таблице @tab:model_behavior.

23.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- На участке нормальной работы (дни 40–45) все четыре модели показывают ИС ≈ 1 — ложные срабатывания отсутствуют.
- Модели «Напор» и «Мощность» реагируют на износ рабочего колеса (дни 46–60) снижением ИС; модели подшипникового узла на данном участке не реагируют.
- Модели «Температура подшипника» и «Вибрация подшипника» реагируют на дефект подшипника (дни 61–65) снижением ИС; при этом модель вибрации реагирует быстрее модели температуры.
- Каждая модель диагностирует только профильную аномалию, что подтверждает корректность декомпозиции оборудования на узлы.

23.4 СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 28.

Ожидаемое поведение ИС моделей по участкам

Модель	Узел	Дни 40–45 (норма)	Дни 46–60 (износ колеса)	Дни 61–65 (дефект подшипника)
Напор	Проточная часть	ИС ≈ 1	ИС снижается от 1 до ~ 0 линейно за 15 дней	ИС остаётся низким (~ 0)
Мощность	Проточная часть	ИС ≈ 1	ИС умеренно снижается	ИС остаётся пониженным
Температура подшипника	Подшипниковый узел	ИС ≈ 1	ИС ≈ 1 (аномалия 1 не влияет)	ИС снижается
Вибрация подшипника	Подшипниковый узел	ИС ≈ 1	ИС ≈ 1 (аномалия 1 не влияет)	ИС снижается быстрее T_brg

24 ДООБУЧЕНИЕ МОДЕЛИ ПОСЛЕ КАПИТАЛЬНОГО РЕМОНТА

Сценарий проверяет возможность дообучения модели после изменения характеристик оборудования (капитальный ремонт). В рамках испытания сначала демонстрируется, что старая модель «Напор» даёт систематическую разладку на послеремонтных данных (ложное срабатывание). Затем создаётся новая версия модели с флагом дообучения, обучается на послеремонтных данных и проверяется на последующем интервале. По итогам проверяется устранение ложного срабатывания и сохранение обеих версий модели.

24.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101», модель «Напор» обучена на доремонтных данных.
- Загружены ретроспективные данные:
 - Дни 73–86: послеремонтный период (характеристики оборудования изменились после капитального ремонта).
 - Дни 87–102: продолжение нормальной эксплуатации после ремонта.

24.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Открыть модель «Напор» (исходная версия, обученная на доремонтных данных).
2. Запустить прогонку модели на интервале дней 73–86.
3. Просмотреть график ИС и убедиться в наличии систематической разладки: ИС снижен, наблюдается ложное срабатывание.
4. Зафиксировать значение R^2 старой модели на данных дней 73–86.
5. Создать новую версию модели «Напор» с флагом «Дообучение».
6. Задать интервал обучения для новой версии: дни 73–86 (послеремонтные данные).
7. Задать интервал тестирования: дни 87–102.
8. Запустить дообучение модели.
9. Дождаться завершения. Просмотреть результаты тестирования дообученной модели на интервале дней 87–102.
10. Зафиксировать значение R^2 дообученной модели на тестовом наборе.
11. Просмотреть график ИС дообученной модели на интервале дней 87–102 и убедиться, что $ИС \approx 1$.
12. Убедиться, что обе версии модели (исходная и дообученная) сохранены и доступны для выбора.

24.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Исходная модель на послеремонтных данных (дни 73–86) показывает систематическую разладку: ИС снижен, R^2 снижен — подтверждается необходимость дообучения.
- Дообученная модель на тестовом наборе (дни 87–102) показывает $ИС \approx 1$, ложное срабатывание устранено.
- Значение R^2 дообученной модели на тестовом наборе превышает 0.7 и сопоставимо с исходным значением R^2 на доремонтных данных.
- Обе версии модели (исходная и дообученная) сохранены в системе и доступны для выбора.

24.4 СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 29.

Сравнение результатов прогонки до и после дообучения

Показатель	Старая модель на данных дней 73–86	Дообученная модель на данных дней 87–102
Систематическая разладка Н	Присутствует	Отсутствует
ИС модели	Снижен (ложное срабатывание)	≈ 1 (норма)
R^2	Снижен	Сопоставим с исходным

25 КОПИРОВАНИЕ (ДУБЛИРОВАНИЕ) МОДЕЛИ

Сценарий проверяет возможность создания копии существующей модели через контекстное меню. В рамках испытания дублируется модель «Напор», после чего проверяется идентичность структуры копии оригиналу. Затем в копии изменяется одна

привязка картирования и проверяется, что оригинальная модель при этом не затронута. По итогам подтверждается независимость копии от оригинала.

25.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101», модель «Напор» создана, структура задана и картирована.

25.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Открыть узел «Проточная часть», в котором расположена модель «Напор».
2. Вызвать контекстное меню модели «Напор» и выбрать пункт «Дублировать» (или «Копировать»).
3. Убедиться, что в списке моделей узла появилась копия с именем, отличным от оригинала (например, «Напор (копия)').
4. Открыть копию модели и проверить, что структура входных и выходных параметров идентична оригиналу:
 - 4.1 Входные параметры: n , Q , n_u .
 - 4.2 Выходной параметр: n .
5. Проверить, что картирование параметров копии соответствует картированию оригинала.
6. В копии модели изменить привязку одного параметра — например, отвязать тег n_u от параметра n_u .
7. Сохранить изменения в копии.
8. Открыть оригинальную модель «Напор» и убедиться, что привязка параметра n_u по-прежнему на месте и не изменена.

25.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Копия модели создана через контекстное меню; в списке моделей отображаются и оригинал, и копия.
- Структура входных и выходных параметров копии идентична оригиналу.
- Картирование параметров копии на момент создания совпадает с картированием оригинала.
- После изменения привязки в копии оригинальная модель остаётся неизменной — копия и оригинал независимы.

26 СОЗДАНИЕ ПРАВИЛА ПО ПАРАМЕТРАМ (NO-CODE) ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ИЗНОСА РАБОЧЕГО КОЛЕСА

Сценарий проверяет возможность создания диагностического правила типа «по параметрам» без написания кода. В рамках испытания для неисправности «Износ рабочего колеса» конфигурируется правило, использующее отклонение параметра напора (H) от расчётного значения. Задаются пороговые уровни разладки, соответствующие индексу состояния (ИС) 0.9 и ИС = 0. Правило запускается на интервале дней 40–60 испытательного

набора данных, после чего проверяется корректность вычисления ИС и момент обнаружения начала деградации.

26.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101» с узлами «Проточная часть» и «Подшипниковый узел».
- Модели обучены и верифицированы; модель «Напор» формирует виртуальный тег разладки Н.
- Загружен испытательный набор данных, содержащий сценарий постепенного износа рабочего колеса (дни 40–60).

26.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в сервис диагностики и прогнозирования (СДП), открыть узел «Проточная часть».
2. Создать неисправность «Износ рабочего колеса».
3. Выбрать тип правила «По параметрам» (no-code).
4. Добавить входной параметр: разладка Н (напор).
5. Установить направление отклонения «Вниз» — износ рабочего колеса приводит к снижению напора.
6. Настроить порог разладки при ИС = 0.9 — использовать функцию автоподбора границ на основе статистики нормального режима.
7. Настроить порог разладки при ИС = 0 — задать экспертно (20% от номинального напора).
8. Сохранить конфигурацию правила.
9. Запустить расчёт неисправности на интервале дней 40–60.
10. Проанализировать график ИС неисправности на указанном интервале.

26.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Правило типа «по параметрам» создано без написания кода.
- На интервале дней 40–45 ИС ≈ 1 (нормальное состояние, отклонения в пределах нормы).
- Начиная с дня 46 ИС начинает снижаться; момент обнаружения начала деградации приходится на день 48–49.
- К дню 60 ИС снижается линейно до значения, близкого к 0.
- Направление отклонения «Вниз» корректно интерпретируется — снижение напора приводит к уменьшению ИС.

26.4 СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 30.

Параметры конфигурации правила по параметрам

Параметр	Значение	Пояснение
Тип правила	По параметрам	No-code конфигурация без написания формул
Входной параметр	Разладка Н (напор)	Связан с отклонением модели «Напор»
Направление отклонения	Вниз	Износ колеса приводит к снижению напора
Разладка при ИС = 0.9	По результатам автоподбора границ	Начало зоны предупреждения
Разладка при ИС = 0	Экспертно (20% от номинального напора)	Критическое отклонение

27 СОЗДАНИЕ ПРАВИЛА ПО КРИТЕРИЯМ (LOW-CODE) ДЛЯ ВЫЯВЛЕНИЯ ДЕФЕКТА ПОДШИПНИКА

Сценарий проверяет возможность создания диагностического правила типа «по критериям» с использованием пользовательской формулы. Для неисправности «Дефект подшипника» конфигурируется правило с двумя входными параметрами — отклонениями температуры и вибрации подшипника. Задаётся взвешенная формула критерия с весовыми коэффициентами, отражающими диагностическую значимость каждого параметра. Правило запускается на интервале дней 55–65, после чего проверяется корректность вычисления ИС и способность правила отличить аномалию проточной части от дефекта подшипника.

27.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101» с узлами «Проточная часть» и «Подшипниковый узел».
- Модели «Температура подшипника» и «Вибрация подшипника» обучены и верифицированы.
- Загружен испытательный набор данных: дни 55–60 содержат аномалию проточной части (без дефекта подшипника), дни 61–65 — развивающийся дефект подшипника.

27.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в СДП, открыть узел «Подшипниковый узел».
2. Создать неисправность «Дефект подшипника».
3. Выбрать тип правила «По критериям» (low-code).
4. Добавить входные параметры:
 - 4.1 dT — разладка температуры подшипника (T_{brg}).
 - 4.2 dV — разладка вибрации подшипника (V_{brg}).
5. Задать пороговые значения:
 - 5.1 dT_{max} — пороговое значение разладки температуры при ИС = 0.
 - 5.2 dV_{max} — пороговое значение разладки вибрации при ИС = 0.

6. Ввести формулу критерия: $0.4 \times (dT / dT_{max}) + 0.6 \times (dV / dV_{max})$.
7. Сохранить конфигурацию правила.
8. Запустить расчёт неисправности на интервале дней 55–65.
9. Проанализировать график ИС неисправности, сопоставив с известными периодами аномалий.

27.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Правило типа «по критериям» создано с пользовательской формулой.
- На интервале дней 55–60 (аномалия проточной части, но без дефекта подшипника) ИС ≈ 1 — правило не даёт ложного срабатывания.
- Начиная с дня 61 ИС начинает снижаться; момент обнаружения начала дефекта подшипника приходится примерно на день 62.
- К дню 65 ИС существенно снижается, отражая развитие дефекта.
- Весовые коэффициенты корректно учитывают вклад каждого параметра: вибрация (0.6) реагирует раньше температуры (0.4).

27.4 СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 31.

Параметры формулы критерия

Элемент	Значение	Пояснение
Формула	$0.4 \times (dT / dT_{max}) + 0.6 \times (dV / dV_{max})$	Взвешенный критерий
dT_max	Пороговое значение разладки температуры	Разладка T_brg при ИС = 0
dV_max	Пороговое значение разладки вибрации	Разладка V_brg при ИС = 0
Вес температуры	0.4	Запаздывающий индикатор
Вес вибрации	0.6	Опережающий индикатор

28 ПРОВЕРКА БИБЛИОТЕКИ ШАБЛОНОВ

Сценарий проверяет наличие и работоспособность библиотеки готовых шаблонов моделей в сервисе диагностики и прогнозирования (СДП). В ходе испытания проверяется наличие предустановленных шаблонов в палитре, создание модели на основе шаблона, корректность переноса структуры тегов и отсутствие переноса картирования.

28.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101» с настроенной структурой узлов.
- Библиотека шаблонов СДП содержит предустановленные шаблоны моделей.

28.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в СДП и открыть палитру шаблонов моделей.
2. Убедиться, что в палитре присутствуют готовые шаблоны моделей (предустановленные).
3. Выбрать один из доступных шаблонов и создать на его основе новую модель в узле проекта.

4. Открыть созданную модель и проверить структуру тегов (входные и выходные параметры).
5. Перейти к разделу картирования созданной модели.
6. Убедиться, что картирование (привязка параметров к тегам платформы) не перенесено из шаблона.

28.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- В палитре СДП присутствуют готовые шаблоны моделей.
- Модель успешно создана на основе выбранного шаблона.
- Структура тегов (входные и выходные параметры) созданной модели полностью соответствует структуре шаблона.
- Картирование параметров пустое — привязки к тегам платформы не перенесены из шаблона.
- Модель готова к индивидуальной настройке картирования для конкретного проекта.

29 ПОПОЛНЕНИЕ БИБЛИОТЕКИ ШАБЛОНОВ

Сценарий проверяет возможность добавления пользовательской модели в библиотеку шаблонов и последующего создания новой модели на основе добавленного шаблона. В ходе испытания модель «Напор» сохраняется как шаблон, после чего из этого шаблона создаётся новая модель. Проверяется корректность переноса структуры тегов и отсутствие переноса картирования и конфигурации.

29.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101» с настроенной структурой узлов.
- Модель «Напор» создана, настроена и обучена в узле «Проточная часть» (входы: n , Q , n_u ; выход: H).

29.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в СДП, открыть узел «Проточная часть», найти модель «Напор».
2. Вызвать контекстное меню модели «Напор» и выбрать пункт «Добавить в шаблон».
3. Убедиться, что шаблон появился в палитре шаблонов.
4. Создать новую модель на основе добавленного шаблона «Напор» в другом узле или проекте.
5. Открыть созданную модель и проверить структуру тегов:
 - 5.1 Входные параметры: n , Q , n_u .
 - 5.2 Выходной параметр: H .
6. Перейти к разделу картирования и убедиться, что привязки к тегам платформы отсутствуют.

7. Проверить конфигурацию модели — убедиться, что параметры обучения и настройки не перенесены.

8.1. Вернуться в палитру шаблонов и убедиться, что шаблон «Напор» доступен для повторного использования.

29.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Шаблон на основе модели «Напор» успешно добавлен в библиотеку шаблонов.
- Шаблон отображается в палитре шаблонов СДП.
- Новая модель, созданная из шаблона, содержит корректную структуру тегов (входы: n , Q , nu ; выход: H).
- Картирование параметров в новой модели пустое — привязки не перенесены.
- Конфигурация модели (параметры обучения) не перенесена из исходной модели.
- Шаблон доступен для повторного использования при создании других моделей.

30 СОЗДАНИЕ МНЕМОСХЕМ НАСОСА Н-101

Сценарий проверяет возможность создания мнемосхем для визуализации состояния оборудования в сервисе диспетчеризации и мониторинга (СДМ). В рамках испытания создаются три мнемосхемы насоса Н-101 с различными элементами визуализации: изображения, индикаторы индекса состояния, таблицы данных и спидометры. Настраиваются навигационные связи между мнемосхемами и переход к сервису исторических данных.

30.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101» с настроенными моделями и диагностическими правилами.
- Доступны теги платформы и виртуальные теги (разрядки, ИС).

30.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в СДМ и создать мнемосхему «Насос Н-101. Общий вид»:
 - 1.1 Разместить изображение насоса.
 - 1.2 Добавить текстовый блок с наименованием оборудования.
 - 1.3 Добавить два индикатора ИС (для узлов «Проточная часть» и «Подшипниковый узел») с цветовой индикацией:
 - 1.3.1 Зелёный: ИС > 0.9 .
 - 1.3.2 Жёлтый: ИС от 0.5 до 0.9.
 - 1.3.3 Красный: ИС < 0.5 .
2. Создать мнемосхему «Насос Н-101. Проточная часть»:
 - 2.1 Добавить таблицу данных с колонками: параметр, фактическое значение, расчётное значение, отклонение, ИС.
 - 2.2 Разместить спидометр для параметра n (обороты), диапазон 0–3000 об/мин.
 - 2.3 Разместить спидометр для параметра Q (расход), диапазон 0–120 м³/ч.

3. Создать мнемосхему «Насос Н-101. Подшипниковый узел»:
 - 3.1 Добавить таблицу данных с колонками: параметр, фактическое значение, расчётное значение, отклонение, ИС.
 - 3.2 Разместить спидометр для параметра T_{brg} (температура подшипника), диапазон 0–100 °С, зона предупреждения 70–80, зона аварии > 80.
 - 3.3 Разместить спидометр для параметра V_{brg} (вибрация подшипника), диапазон 0–10 мм/с, зона предупреждения 4.5–7, зона аварии > 7.
4. Настроить навигационные связи:
 - 4.1 Из мнемосхемы «Общий вид» — переход к мнемосхемам «Проточная часть» и «Подшипниковый узел».
 - 4.2 Из мнемосхем узлов — возврат к мнемосхеме «Общий вид».
 - 4.3 Из мнемосхем узлов — переход к сервису исторических данных для детального анализа.
5. Проверить работоспособность навигационных связей.

30.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Созданы три мнемосхемы с соответствующими элементами визуализации.
- Индикаторы ИС корректно отображают цветовую индикацию в зависимости от значения.
- Спидометры отображают актуальные значения параметров в заданных диапазонах.
- Таблицы данных содержат все требуемые колонки.
- Навигация между мнемосхемами работает корректно: переходы вперёд и возврат.
- Переход к сервису исторических данных выполняется из мнемосхем узлов.

31 НАСТРОЙКА РАБОЧИХ РЕЖИМОВ

Сценарий проверяет возможность настройки рабочих режимов оборудования для исключения ложных срабатываний диагностики в периоды простоя. В рамках испытания создаётся рабочий режим «Насос в работе» с условием по оборотам, проверяется наследование режима дочерними узлами и корректность поведения при запуске расчёта на интервале, включающем период останова.

31.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101» с узлами «Проточная часть» и «Подшипниковый узел».
- Модели обучены и картированы; диагностические правила настроены.
- Загружен испытательный набор данных, содержащий интервал с остановом насоса ($n < 500$ об/мин).

31.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти к настройке узла «Проточная часть» в СДП.
2. Создать рабочий режим «Насос в работе» с условием: $n > 500$ об/мин.

3. Проверить, что узел «Подшипниковый узел» наследует или получает аналогичный рабочий режим.
- 4.1. Запустить расчёт моделей и диагностических правил на интервале, включающем период останова насоса.
- 5.2. Проанализировать результаты расчёта:
 - 5.2.1. Проверить, что в период останова ($n < 500$ об/мин) расчёт не выполняется.
 - 5.2.2. Проверить, что в период работы ($n > 500$ об/мин) расчёт выполняется штатно.
- 6.3. Убедиться в отсутствии ложных срабатываний неисправностей в период останова.

31.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Рабочий режим «Насос в работе» создан с условием $n > 500$ об/мин.
- Узел «Подшипниковый узел» наследует или получает аналогичный рабочий режим.
- В период останова насоса ($n < 500$ об/мин) расчёт моделей и диагностических правил не выполняется.
- Ложные срабатывания неисправностей в период останова отсутствуют.
- При возобновлении работы насоса ($n > 500$ об/мин) расчёт возобновляется автоматически.

32 ЗАПУСК МОНИТОРИНГА И РАСЧЁТ КОМПЛЕКСНОГО ИНДЕКСА СОСТОЯНИЯ

Сценарий проверяет возможность запуска мониторинга оборудования в реальном времени с использованием эмулятора и сжатого набора данных. Проверяется корректность агрегации индекса состояния (ИС) по иерархии: теги модели, модели, узлы, сборка. В ходе мониторинга наблюдается поведение ИС при последовательном развитии двух неисправностей.

32.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101» с полностью настроенной структурой.
- Обучены 4 модели, настроены 2 неисправности, создан 1 блок прогнозирования.
- Подготовлен сжатый 10-минутный набор данных для эмулятора, воспроизводящий сценарий последовательного развития двух неисправностей.
- Созданы мнемосхемы для визуализации.

32.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в СДМ и запустить эмулятор со сжатым 10-минутным набором данных.
2. Включить все расчётные объекты:
 - 2.1 4 модели: «Напор», «Мощность», «Температура подшипника», «Вибрация подшипника».
 - 2.2 2 неисправности: «Износ рабочего колеса», «Дефект подшипника».

2.3 1 блок прогнозирования.

3.1 Наблюдать за изменением ИС на всех уровнях иерархии в течение 10 минут эмуляции.

4.2 Проверить правила агрегации ИС:

4.12.1 ИС модели = $\min(\text{ИС тегов модели})$.

4.22.2 ИС узла = $\min(\text{ИС моделей узла})$.

4.32.3 ИС сборки = $\min(\text{ИС узлов сборки})$.

5.3 Проверить обновление виджетов и мнемосхем в реальном времени.

6.4 Проверить работоспособность навигации между мнемосхемами.

32.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Мониторинг запущен, все расчётные объекты активны.
- ИС агрегируется корректно по правилу минимума на каждом уровне иерархии.
- Виджеты отображают актуальные значения параметров и ИС.
- Мнемосхемы обновляются в реальном времени.
- Навигация между мнемосхемами работает корректно.

32.4 СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 32.

Ожидаемое поведение ИС по уровням иерархии во время мониторинга

Уровень	Минуты 0–3 (норма)	Минуты 3–7 (износ колеса)	Минуты 7–10 (дефект подшипника)
Модель «Напор»	≈ 1	Снижается $\rightarrow \sim 0$	Остаётся ~ 0
Модель «Мощность»	≈ 1	Умеренно снижается	Остаётся пониженным
Модель «Температура подшипника»	≈ 1	≈ 1	Снижается
Модель «Вибрация подшипника»	≈ 1	≈ 1	Снижается (быстрее T_{brg})
Узел «Проточная часть»	≈ 1	Снижается (= $\min$ моделей)	Остаётся низким
Узел «Подшипниковый узел»	≈ 1	≈ 1	Снижается (= $\min$ моделей)
Сборка «Н-101»	≈ 1	Снижается	Снижается далее (= $\min$ узлов)

33 ПРОГНОЗИРОВАНИЕ ОСТАТОЧНОГО РЕСУРСА

Сценарий проверяет возможность настройки и работы блока прогнозирования остаточного ресурса оборудования. Конфигурируется блок прогнозирования ИС неисправности «Износ рабочего колеса» с использованием линейной регрессии. Проверяется корректность определения нисходящего тренда, отсутствие ложных срабатываний в нормальном периоде и точность прогноза момента достижения критического значения ИС.

33.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.

- Создан проект «Насосная установка Н-101» с настроенными моделями и неисправностями.
- Неисправность «Износ рабочего колеса» настроена и расчёт подтверждён.
- Подготовлен сжатый 24-часовой набор данных: первые 8 часов — нормальный режим, далее — развивающийся износ.

33.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в СДП и открыть узел «Проточная часть».
2. Создать блок прогнозирования «Прогноз ИС износа колеса» со следующими параметрами:
 - 2.1 Метод прогнозирования: линейная регрессия.
 - 2.2 Направление тренда: нисходящий.
 - 2.3 Горизонт прогнозирования: 7 дней.
 - 2.4 Пороговое значение ИС: 0 (критическое состояние).
3. Запустить эмуляцию со сжатым 24-часовым набором данных.
4. Наблюдать за поведением блока прогнозирования в период нормальной работы (первые 8 часов):
 - 4.1 Убедиться в отсутствии ложных прогнозов деградации.
5. Наблюдать за поведением блока прогнозирования при развитии износа (после 8 часов):
 - 5.1 Убедиться, что нисходящий тренд определён.
 - 5.2 Проверить отображение прогноза остаточного ресурса.
6. Сравнить прогнозируемый момент достижения $ИС = 0$ с фактическим.

33.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Блок прогнозирования создан и настроен с указанными параметрами.
- В период нормальной работы (первые 8 часов) ложные прогнозы деградации отсутствуют.
- При развитии износа нисходящий тренд ИС обнаружен корректно.
- Прогноз остаточного ресурса отображается и уменьшается по мере развития аномалии.
- Прогнозируемый момент достижения $ИС = 0$ приблизительно соответствует фактическому.

34 ПРОСМОТР ИСТОРИЧЕСКИХ ДАННЫХ МОНИТОРИНГА И НАСТРОЙКА ГРУПП ГРАФИКОВ

Сценарий проверяет возможность просмотра исторических данных после завершения эмуляции, а также настройку и сохранение пользовательских групп графиков. Проверяется доступность трёх категорий данных (исходные, виртуальные, результаты мониторинга), визуализация периодов аномалий и интервалов срабатывания неисправностей, а также корректность сохранения и восстановления групп графиков.

34.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Завершена эмуляция мониторинга насоса Н-101 со сжатым набором данных.
- В системе накоплены исторические данные: исходные теги, виртуальные теги (разладки, ИС), результаты расчёта неисправностей.

34.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в сервис исторических данных.
2. Просмотреть исходные данные:
 - 2.1 Выбрать теги n (обороты) и Q (расход).
 - 2.2 Убедиться, что графики отображают корректные значения на всём интервале эмуляции.
3. Просмотреть результаты мониторинга:
 - 3.1 Выбрать фактические и расчётные значения напора (H).
 - 3.2 Добавить на график ИС модели «Напор».
 - 3.3 Убедиться, что расхождение фактических и расчётных значений соответствует периодам снижения ИС.
4. Просмотреть интервалы срабатывания неисправностей:
 - 4.1 Отобразить интервалы активации неисправностей «Износ рабочего колеса» и «Дефект подшипника».
 - 4.2 Убедиться, что интервалы соответствуют ожидаемым периодам.
5. Просмотреть виртуальные теги:
 - 5.1 Выбрать теги разладок (отклонений) моделей.
 - 5.2 Убедиться, что значения разладок коррелируют с поведением ИС.
6. Сформировать группу графиков «Мониторинг Н-101 — результаты эмуляции»:
 - 6.1 Включить в группу: исходные данные (n , Q), результаты мониторинга (H факт/расчёт, ИС), интервалы неисправностей.
 - 6.2 Сохранить группу.
7. Закрыть сервис исторических данных, открыть заново.
8. Загрузить сохранённую группу графиков «Мониторинг Н-101 — результаты эмуляции».
9. Убедиться, что все графики группы восстановлены корректно.

34.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Доступны три категории данных: исходные теги, виртуальные теги, результаты мониторинга.
- Периоды аномалий визуально различимы на графиках — расхождение фактических и расчётных значений совпадает с периодами снижения ИС.
- Интервалы срабатывания неисправностей соответствуют ожидаемым периодам эмуляции.
- Группа графиков «Мониторинг Н-101 — результаты эмуляции» сохранена успешно.

- При повторном открытии сервиса сохранённая группа графиков загружается и отображается корректно — все теги, масштаб и настройки восстановлены.

35 ФОРМИРОВАНИЕ УВЕДОМЛЕНИЙ ПРИ ВЫЯВЛЕНИИ АНОМАЛИЙ

Сценарий проверяет автоматическое формирование уведомлений в сервисе бизнес-логики (СБЛ) при срабатывании диагностических правил. После завершения мониторинга с двумя выявленными неисправностями проверяется наличие соответствующих уведомлений, корректность их атрибутов и автоматическое создание процессов реагирования.

35.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Завершена эмуляция мониторинга насоса Н-101, в ходе которой сработали две неисправности: «Износ рабочего колеса» и «Дефект подшипника».
- Настроены шаблоны событий для формирования уведомлений.

35.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в СБЛ, открыть раздел уведомлений.
2. Убедиться, что в списке присутствуют уведомления от обеих неисправностей.
3. Открыть уведомление, связанное с неисправностью «Износ рабочего колеса», и проверить атрибуты:
 - 3.1 Источник уведомления.
 - 3.2 Связанный объект (узел).
 - 3.3 Приоритет.
 - 3.4 Время формирования.
 - 3.5 Описание.
 - 3.6 Наличие автоматически созданного процесса реагирования.
4. Открыть уведомление, связанное с неисправностью «Дефект подшипника», и выполнить аналогичную проверку.
5. Убедиться, что для каждого уведомления автоматически создан процесс реагирования.

35.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- В СБЛ сформировано не менее двух уведомлений, соответствующих сработавшим неисправностям.
- Все атрибуты уведомлений заполнены корректно.
- Процессы реагирования созданы автоматически для каждого уведомления.

35.4 СПРАВОЧНЫЕ ДАННЫЕ

Таблица 33.

Ожидаемые атрибуты уведомлений

Атрибут	Уведомление 1	Уведомление 2
Источник	Износ рабочего колеса	Дефект подшипника
Связанный объект (узел)	Проточная часть	Подшипниковый узел
Приоритет	Согласно шаблону	Согласно шаблону
Время формирования	Соответствует моменту срабатывания	Соответствует моменту срабатывания
Описание	Заполнено из шаблона события	Заполнено из шаблона события
Процесс реагирования	Создан автоматически	Создан автоматически

36 ВЗАИМОДЕЙСТВИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ С УВЕДОМЛЕНИЯМИ CYBERSTUDIO

Сценарий проверяет возможность взаимодействия пользователя с уведомлениями и связанными процессами реагирования. В ходе испытания пользователь открывает уведомление, переходит к связанному процессу реагирования, последовательно выполняет задачи процесса, добавляет комментарии и вложения, после чего проверяется корректность ведения журнала истории.

36.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- В СБЛ присутствует уведомление «Износ рабочего колеса» с автоматически созданным процессом реагирования.
- Процесс реагирования содержит не менее двух задач.

36.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в СБЛ, открыть уведомление «Износ рабочего колеса».
2. Перейти к связанному процессу реагирования.
3. Открыть задачу 1 «Проверка инженером ЦПА»:
 - 3.1 Ознакомиться с описанием задачи.
 - 3.2 Указать результат выполнения: «Срабатывание подтверждено».
 - 3.3 Завершить задачу.
4. Добавить комментарий к процессу реагирования с текстовым описанием результатов проверки.
5. Прикрепить вложение (файл) к комментарию.
6. Открыть задачу 2 «Подтверждение службой ТОиР»:
 - 6.1 Ознакомиться с описанием задачи.
 - 6.2 Указать результат выполнения: «Принято в работу».
 - 6.3 Завершить задачу.
7. Проверить журнал истории процесса реагирования:
 - 7.1 Убедиться, что зафиксированы все действия: создание процесса, выполнение задач, добавление комментариев.
8. Проверить итоговый статус процесса реагирования.

36.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Процесс реагирования корректно связан с уведомлением — переход выполняется.
- Комментарии и вложения добавляются и отображаются корректно.
- Результаты выполнения задач сохраняются и влияют на статус процесса.
- Журнал истории содержит записи обо всех действиях в хронологическом порядке.
- После завершения всех задач процесс реагирования переходит в статус «Завершён».

37 НАСТРОЙКА АВТОМАТИЧЕСКОГО СОЗДАНИЯ ПРОЦЕССА ПО ШАБЛОНУ

Сценарий проверяет возможность создания шаблона процесса реагирования и его привязки к диагностическим неисправностям для автоматического запуска при срабатывании. В ходе испытания создаётся шаблон процесса с двумя задачами, выполняется привязка к неисправностям, после чего запускается эмуляция для проверки автоматического создания процессов.

37.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- Создан проект «Насосная установка Н-101» с настроенными неисправностями «Износ рабочего колеса» и «Дефект подшипника».
- Подготовлен сжатый набор данных для эмуляции, содержащий сценарий срабатывания обеих неисправностей.

37.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в СБЛ, открыть раздел управления шаблонами процессов.
2. Создать шаблон процесса «Отработка срабатывания неисправности» с двумя задачами:
 - 2.1 Задача 1: проверка и подтверждение срабатывания (назначается инженеру).
 - 2.2 Задача 2: принятие решения о дальнейших действиях (назначается службе ТОиР).
3. Сохранить шаблон процесса.
4. Привязать шаблон процесса к неисправности «Износ рабочего колеса».
5. Привязать шаблон процесса к неисправности «Дефект подшипника».
6. Запустить эмуляцию мониторинга со сжатым набором данных.
7. Дождаться срабатывания неисправностей.
8. Перейти в раздел процессов СБЛ и проверить:
 - 8.1 Наличие автоматически созданных процессов реагирования.
 - 8.2 Соответствие задач процессов шаблону.
 - 8.3 Привязку процессов к соответствующим уведомлениям.

37.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Шаблон процесса «Отработка срабатывания неисправности» создан с двумя задачами.
- Шаблон привязан к обеим неисправностям.
- При срабатывании каждой неисправности автоматически создаётся процесс реагирования на основе шаблона.
- Задачи автоматически созданных процессов соответствуют задачам шаблона.
- Процессы корректно связаны с соответствующими уведомлениями о срабатывании.

38 ФОРМИРОВАНИЕ ОТЧЁТА ПО СОБЫТИЯМ

Сценарий проверяет возможность фильтрации событий и формирования отчёта в формате .xlsx. В ходе испытания выполняется фильтрация событий по временному интервалу и источнику, экспорт отфильтрованных данных в файл, после чего проверяется корректность содержимого сформированного отчёта.

38.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут испытательный стенд ПО CyberStudio, пользователь авторизован через Keycloak.
- В системе накоплены события за период эмуляции мониторинга: уведомления о срабатывании неисправностей, создание процессов реагирования, действия пользователей.

38.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Перейти в СБЛ, открыть раздел журнала событий.
2. Настроить фильтрацию событий:
 - 2.1 Задать временной интервал, соответствующий периоду эмуляции.
 - 2.2 Задать фильтр по источнику (например, только события от неисправности «Износ рабочего колеса»).
3. Применить фильтры и убедиться, что отображаются только соответствующие события.
4. Выполнить экспорт отфильтрованных событий в формат .xlsx.
5. Скачать сформированный файл отчёта.
6. Открыть файл и проверить содержимое:
 - 6.1 Наличие всех обязательных полей (дата/время, источник, тип события, описание, приоритет).
 - 6.2 Соответствие количества строк количеству отфильтрованных событий на экране.
 - 6.3 Корректность значений в каждом поле.

38.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Фильтрация событий по временному интервалу и источнику работает корректно — отображаются только соответствующие критериям события.
- Файл отчёта в формате .xlsx сформирован и доступен для скачивания.
- Отчёт содержит все обязательные поля: дата/время, источник, тип события, описание, приоритет.
- Количество строк в отчёте соответствует количеству отфильтрованных событий.
- Значения полей в отчёте корректны и соответствуют данным на экране.

39 ОНБОРДИНГ — ОТ АВТОРИЗАЦИИ ЧЕРЕЗ KEYCLOAK ДО РАБОТЫ В ПРОЕКТЕ

В данном сценарии проверяется сквозной путь нового пользователя: от первичной авторизации через Keycloak до начала продуктивной работы в проекте CyberStudio.

39.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут экземпляр CyberStudio с настроенной интеграцией с Keycloak.
- Имеется учётная запись суперпользователя с правами создания пространств.
- Создано хотя бы одно пространство с одним проектом.
- В Keycloak создана учётная запись нового пользователя с временным паролем. Пользователь ещё не авторизовывался в CyberStudio.

39.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Открыть интерфейс CyberStudio. Система перенаправляет на страницу авторизации Keycloak.
2. Ввести логин и временный пароль нового пользователя в форме авторизации Keycloak.
3. При первом входе Keycloak потребует сменить временный пароль — задать постоянный пароль.
4. Убедиться, что после успешной авторизации пользователь попадает на приветственный экран CyberStudio и не имеет доступа ни к одному пространству или проекту.
5. Выполнить вход с учётной записью суперпользователя. Перейти в панель администрирования, открыть карточку пространства, вкладку «Пользователи».
6. Добавить нового пользователя в пространство с ролью «Пользователь».
7. Открыть карточку проекта, добавить этого пользователя в проект с ролью «Пользователь».
8. В таблице доступов проекта настроить для пользователя доступы: «Сбор данных» — Полный доступ, «Исторический сервис» — Полный доступ, «Дизайн проекта» — Нет доступа, «Мониторинг» — Полный доступ. Остальные сервисы — Нет доступа.
9. Выполнить вход с учётной записью нового пользователя. Убедиться, что проект отображается в списке доступных проектов. Перейти в проект.

10. Убедиться, что в боковой панели навигации доступны только сервисы: «Сбор данных», «Исторический сервис», «Мониторинг». Сервисы «Дизайн проекта», «Бизнес-логика», «Каталог мнемосхем» и прочие недоступны.

39.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Новый пользователь успешно авторизуется через Keycloak, при первом входе выполняется смена временного пароля.
- До назначения в пространство и проект пользователь не имеет доступа к каким-либо данным.
- После назначения в проект пользователю доступны только те сервисы платформы, которые были явно разрешены в таблице доступов.

40 ПОСТРОЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННОЙ СТРУКТУРЫ — ПРОСТРАНСТВО, ПРОЕКТ, ПОЛЬЗОВАТЕЛИ

В данном сценарии проверяется создание полной организационной иерархии CyberStudio: от создания пространства до назначения пользователей с разными ролями и настройки их доступов к сервисам.

40.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Развёрнут экземпляр CyberStudio. Имеется учётная запись суперпользователя.
- В Keycloak созданы учётные записи трёх пользователей, ещё не добавленных ни в одно пространство.

40.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Выполнить вход с учётной записью суперпользователя, перейти в панель администрирования.
2. Создать новое пространство: задать имя и описание.
3. Убедиться, что пространство появилось в сводной таблице пространств.
4. Открыть карточку созданного пространства, перейти на вкладку «Проекты».
5. Создать проект внутри пространства: задать имя и описание.
6. Убедиться, что проект появился в таблице проектов пространства.
7. Перейти на вкладку «Пользователи» пространства.
8. Добавить трёх пользователей в пространство с ролями: «Владелец», «Администратор», «Пользователь» соответственно.
9. Открыть карточку проекта, перейти на вкладку «Пользователи».
10. Добавить тех же трёх пользователей в проект с аналогичными ролями.
11. Перейти на вкладку «Доступы» проекта и настроить доступы к сервисам для каждого пользователя.
12. Выполнить вход поочерёдно с учётной записью каждого из трёх пользователей и убедиться, что каждый видит проект и имеет доступ только к назначенным сервисам.

40.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Организационная структура «пространство — проект — пользователи» создана корректно.
- Каждый из трёх пользователей видит проект и имеет доступ строго к тем сервисам, которые были назначены в таблице доступов.

41 РАЗГРАНИЧЕНИЕ ПРАВ РОЛЕЙ НА УРОВНЕ ПРОСТРАНСТВА

В данном сценарии проверяется, что ролевая модель на уровне пространства работает в соответствии с матрицей прав: администратор, владелец и пользователь пространства имеют различные возможности.

41.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Создано пространство с проектом. В пространство добавлены три пользователя с ролями: «Администратор», «Владелец», «Пользователь».

41.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Выполнить вход с учётной записью Администратора пространства:
 - 1.1 Убедиться, что доступны: редактирование пространства, удаление пространства, создание проектов, управление всеми пользователями (включая администраторов и владельцев).
2. Выполнить вход с учётной записью Владельца пространства:
 - 2.1 Убедиться, что доступны: редактирование пространства, создание проектов, управление пользователями;
 - 2.2 Убедиться, что удаление пространства недоступно.
3. Выполнить вход с учётной записью Пользователя пространства:
 - 3.1 Убедиться, что недоступны: редактирование и удаление пространства, создание проектов, управление пользователями;
 - 3.2 Убедиться, что пользователь не видит список пространств в панели администрирования.

41.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Администратор имеет полный набор прав, включая удаление пространства.
- Владелец имеет все права кроме удаления пространства.
- Пользователь не имеет административных прав и не видит панель администрирования.

42 РАЗГРАНИЧЕНИЕ ПРАВ РОЛЕЙ НА УРОВНЕ ПРОЕКТА

В данном сценарии проверяется ролевая модель на уровне проекта: администратор, владелец и пользователь проекта имеют различные возможности по управлению проектом, пользователями и доступами.

42.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Создано пространство с проектом. В проект добавлены три пользователя с ролями: «Администратор», «Владелец», «Пользователь».

42.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Выполнить вход с учётной записью Администратора проекта:
 - 1.1 Убедиться, что доступны: редактирование проекта, удаление проекта, добавление и удаление пользователей (включая администраторов и владельцев), настройка доступов к сервисам.
2. Выполнить вход с учётной записью Владельца проекта:
 - 2.1 Убедиться, что доступны: редактирование проекта, добавление и удаление пользователей (кроме администраторов и владельцев), настройка доступов к сервисам;
 - 2.2 Убедиться, что удаление проекта недоступно.
3. Выполнить вход с учётной записью Пользователя проекта:
 - 3.1 Убедиться, что недоступны: редактирование и удаление проекта, управление пользователями, изменение доступов;
 - 3.2 Убедиться, что пользователь может работать только в сервисах, к которым ему предоставлен доступ.

42.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Администратор имеет полный набор прав, включая удаление проекта и управление всеми пользователями.
- Владелец имеет все права кроме удаления проекта; управление ограничено пользователями с ролью «Пользователь».
- Пользователь может только работать в разрешённых сервисах без административных возможностей.

43 УПРАВЛЕНИЕ ДОСТУПАМИ К СЕРВИСАМ И ПРОВЕРКА ИХ ПРИМЕНЕНИЯ

В данном сценарии проверяется, что настройка доступов в таблице доступов проекта реально влияет на видимость и доступность сервисов для пользователя.

43.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Создано пространство с проектом. В проект добавлен пользователь с ролью «Пользователь».

43.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Выполнить вход с учётной записью администратора проекта, открыть вкладку «Доступы».

2. Настроить для пользователя: «Сбор данных» — Полный доступ, «Исторический сервис» — Полный доступ, «Мониторинг» — Полный доступ, все остальные сервисы — Нет доступа.
- 3.1. Выполнить вход с учётной записью пользователя, перейти в проект.
- 4.2. Убедиться, что в боковой панели навигации отображаются только иконки сервисов: «Сбор данных», «Исторический сервис», «Мониторинг».
- 5.3. Убедиться, что переход к сервисам «Дизайн проекта», «Бизнес-логика», «Каталог мнемосхем» невозможен.
- 6.4. Вернуться в учётную запись администратора, добавить пользователю доступ к сервису «Дизайн проекта» (изменить на «Полный доступ»).
- 7.5. Выполнить повторный вход с учётной записью пользователя.
- 8.6. Убедиться, что сервис «Дизайн проекта» стал доступен в боковой панели навигации.

43.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Таблица доступов проекта точно управляет видимостью сервисов в боковой панели навигации.
- Изменение доступов применяется при следующем входе пользователя.

44 УДАЛЕНИЕ ПОЛЬЗОВАТЕЛЯ ИЗ ПРОЕКТА — КАСКАД ПОСЛЕДСТВИЙ

В данном сценарии проверяется поведение системы при удалении пользователя из проекта: сохранность его членства в пространстве, сохранность созданных им объектов и фактическая потеря доступа к проекту.

44.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Создано пространство с проектом. В проект добавлен пользователь с ролью «Пользователь» и доступом к сервису «Сбор данных».
- Пользователь предварительно создал в проекте несколько платформенных тегов в сервисе сбора данных.

44.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Выполнить вход с учётной записью пользователя, убедиться, что проект доступен и созданные теги отображаются в сервисе сбора данных.
2. Выполнить вход с учётной записью администратора проекта, открыть карточку проекта, вкладку «Пользователи».
3. Нажать на строку пользователя в таблице, в открывшемся модальном окне выбрать «Удалить из проекта», подтвердить удаление.
4. Убедиться, что пользователь больше не отображается в таблице пользователей проекта.
5. Выполнить вход с учётной записью удалённого пользователя:
 - 5.1 Убедиться, что проект больше не отображается в списке доступных проектов.

6. Перейти в панель администрирования, открыть карточку пространства, вкладку «Пользователи»:
 - 6.1 Убедиться, что пользователь по-прежнему присутствует в пространстве.
7. Выполнить вход с учётной записью администратора проекта, перейти в сервис сбора данных:
 - 7.1 Убедиться, что платформенные теги, созданные удалённым пользователем, сохранились в проекте.

44.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Удаление пользователя из проекта лишает его доступа к проекту.
- Пользователь остаётся членом пространства (не удалён из пространства).
- Объекты, созданные пользователем в проекте (платформенные теги), сохраняются и доступны другим пользователям проекта.

45 ИЗОЛЯЦИЯ ДАННЫХ МЕЖДУ ПРОСТРАНСТВАМИ И ПРОЕКТАМИ

В данном сценарии проверяется, что данные и проекты строго изолированы друг от друга: пользователь с доступом к нескольким пространствам видит только те проекты, в которые он добавлен.

45.1 НАЧАЛЬНЫЕ УСЛОВИЯ

- Созданы два пространства (А и Б). В каждом пространстве создан один проект.
- В сервисе сбора данных проекта пространства А созданы платформенные теги.
- В Keuscloak создана учётная запись пользователя, ещё не добавленного ни в одно пространство.

45.2 ДЕЙСТВИЯ

1. Выполнить вход с учётной записью суперпользователя.
2. Добавить пользователя в пространство А с ролью «Пользователь».
3. Добавить того же пользователя в проект пространства А с доступом к сервисам «Сбор данных» и «Исторический сервис».
4. Добавить пользователя в пространство Б с ролью «Пользователь», но не добавлять его в проект пространства Б.
5. Выполнить вход с учётной записью пользователя.
6. Убедиться, что в списке доступных проектов отображается только проект пространства А.
7. Перейти в проект пространства А, открыть сервис сбора данных:
 - 7.1 Убедиться, что платформенные теги проекта А отображаются корректно.
8. Вернуться к списку проектов.
9. Убедиться, что проект пространства Б не отображается в списке доступных проектов и переход к нему невозможен.

45.3 ОЖИДАЕМЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ

- Пользователь видит только проекты, в которые он явно добавлен.

- Проекты пространств, в которых пользователь состоит, но не добавлен в конкретный проект, недоступны.
- Данные между проектами изолированы.