



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«МИРЭА – Российский технологический университет»

РТУ МИРЭА

Институт информационных технологий (ИТ)
Кафедра промышленной информатики (ПИ)

КУРСОВАЯ РАБОТА

по дисциплине «Проектирование информационно-управляющих систем»

Тема курсовой работы: Автоматизация технологического процесса производства газированных напитков.

Студент группы

Астахов А.В. ИВБО-10-19

(Ф.И.О., учебная группа)

(подпись студента)

Руководитель курсовой
работы

Пиотровский Д.Л., профессор, д.т.н.

(Ф.И.О., должность, звание, ученая степень)

(подпись
руководителя)

Консультант

Володина А.М., старший
преподаватель

(Ф.И.О., должность, звание, ученая степень)

(подпись
консультанта)

Курсовая работа
представлена к защите

«28» 12 2022 г.

Допущена к защите


«28» 12 2022 г.



МИНОБРНАУКИ РОССИИ
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение
высшего образования
«МИРЭА – Российский технологический университет»

РТУ МИРЭА

Институт информационных технологий (ИТ)
Кафедра промышленной информатики (ПИ)

Утверждаю
Заведующий кафедрой ПИ

Холодов В.А.
(подпись) (Ф.И.О.)
«___» _____ 20__ г.

ЗАДАНИЕ

на выполнение курсовой работы

по дисциплине «Проектирование информационно-управляющих систем»

Тема курсовой работы: «Проектирование информационно-управляющей системы: автоматизация технологического процесса производства газированных напитков».

Студент Астахов А.В.

Группа ИВБО-10-19


Исходные данные: конфигурация объекта автоматизации

Перечень вопросов, подлежащих разработке, и обязательного графического материала: анализ технологического процесса, построение технологических моделей ИУС, моделирование модели БД, разработка стратегической карты и критериев управления, динамическое моделирование технологического процесса.

Срок представления к защите курсовой работы


до «20 декабря 2022 г.

Задание на курсовую работу
выдал


(подпись руководителя)


Пиотровский Д. Л.
(Ф.И.О. руководителя)
« 6 » сентября 2022 г.

Задание на курсовую работу
выдал


(подпись консультанта)

Володина А.М.
(Ф.И.О. консультанта)
« 6 » сентября 2022 г.

Задание на курсовую работу
получил


(подпись обучающегося)

Астахов А.В.
(Ф.И.О. обучающегося)
« 6 » сентября 2022 г.

СОДЕРЖАНИЕ

ВВЕДЕНИЕ	3
1 ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ	4
1.1 Описание технологического процесса	4
1.1.1 Приготовление воды	4
1.1.2 Приготовление сиропа	5
1.1.3 Приготовление колера	5
1.1.4 Приготовление купажного сиропа.....	6
1.1.5 Насыщение воды или напитка диоксидом углерода	8
1.1.6 Розлив в бутылки.....	8
1.1.7 Наклеивание этикеток и передача готовой продукции на склад.....	8
1.1.8 Бракераж.....	9
1.1.9 Хранение и транспортировка продукции	9
1.2 Выбор узкого места технологического процесса.....	10
1.3 Описание оборудования для участка автоматизации.....	11
1.3.1 Световой экран	11
1.3.2 Инспекционная машина.....	12
1.4 Возможности для автоматизации	16
2 МОДЕЛИРОВАНИЕ ИНФОРМАЦИОННОГО ОБЕСПЕЧЕНИЯ ИУС ...	17
2.1 Структурно-функциональный анализ	17
2.1.1 Анализ с использованием нотации IDEF0.....	17
2.1.2 Анализ с использованием нотации DFD.....	22
2.1.3 Анализ с использованием нотации BPMN	24
2.2 Модель данных	29
2.2.1 Логическая модель данных	29

2.2.2 Физическая модель данных	30
2.3 Модель архитектуры	32
2.3.1 Моделирование архитектуры в нотации UML	32
3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ	34
3.1 Модель конечного автомата	34
3.2 Алгоритм	35
4 ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ	40
5 ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ	42
5.1 Требования к структуре ИУС в целом	42
5.1.1 Перечень подсистем ИУС и их назначение	42
5.1.2 Требования к способам обеспечения информационного взаимодействия компонентов ИУС	42
5.1.3 Требования к характеристикам взаимосвязей ИУС с внешними модулями	42
5.1.4 Требования к режимам функционирования ИУС	43
5.1.5 Требования по диагностированию ИУС	43
5.2 Требования к задачам, выполняемым ИУС	43
5.3 Требования к видам обеспечения ИУС	44
5.3.1 Требования к математическому обеспечению	44
5.3.2 Требования к информационному обеспечению	44
СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ	45
ПРИЛОЖЕНИЯ	46
Приложение А	46
Приложение Б	48
Приложение В	52

ВВЕДЕНИЕ

«Там, где вода сладкая, много стройных и красивых людей», — рассуждали авторы одного из медицинских трактатов Древнего Китая.

На сегодняшний день газированные напитки являются важной частью современного производства и потребления. Мало найдется людей, кому шипучий напиток с пузырьками не придется по вкусу. На протяжении последних десятилетий промышленность по производству безалкогольных освежающих напитков получила великолепные возможности для дальнейшего развития. Структурный сдвиг от ремесленных производств к промышленным предприятиям ставит перед ними все более высокие требования, касающиеся в первую очередь высокой производительности розлива и оборота по физическому объему без потери качества. Отсюда и выливается необходимость в автоматизации процессов производства.

1 ОПИСАНИЕ ПРЕДМЕТНОЙ ОБЛАСТИ

1.1 Описание технологического процесса

Производство газированных безалкогольных напитков включает в себя следующие основные стадии:

- подготовка воды;
- приготовление сахарного сиропа;
- приготовление колера;
- приготовление купажного сиропа;
- насыщение воды или напитка диоксидом углерода;
- розлив в бутылки;
- бракераж;
- наклеивание этикеток и передача готовой продукции на склад;
- хранение и транспортировка продукции.

Технологическая линия производства газированных напитков представлена на Рисунке 1.

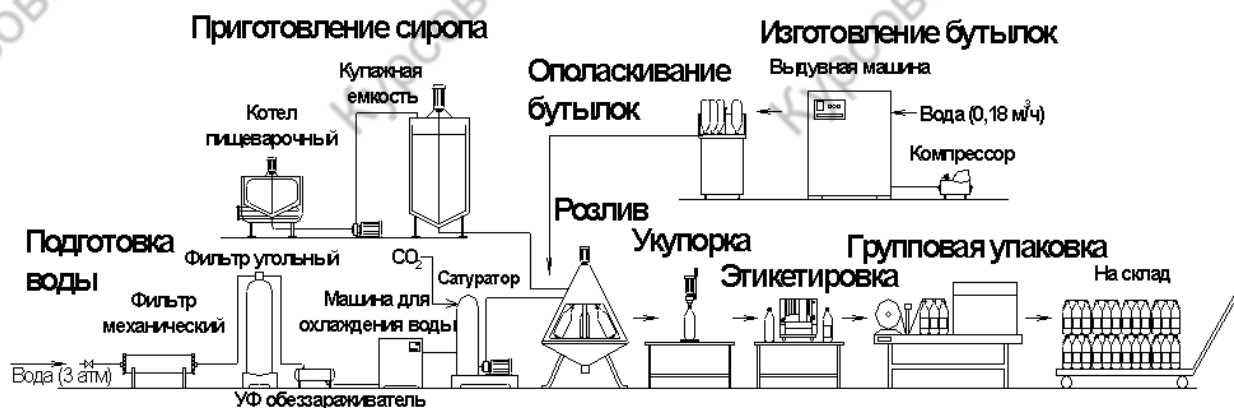


Рисунок 1 — Технологическая линия производства

1.1.1 Приготовление воды

Значительную часть любого газированного напитка составляет вода, и именно от ее качества во многом зависит вкус напитка. Чтобы вкус был одинаковым по всему миру, воду на всех заводах приводят к единому стандарту качества. В цехе водоподготовки она проходит сложную и

многоступенчатую систему очистки. Вначале в воду добавляют сульфат железа, который присоединяет к себе органические вещества, содержащиеся в воде. Образуются хлопья, так называемые флоккулы. Воду пропускают через песочный фильтр, который задерживает флоккулы, после чего вода поступает в катионированный ионообменник, где смягчается. Затем воду очищают от хлора угольными фильтрами и, наконец, обеззараживают ультрафиолетом. Весь цикл очистки занимает два часа, после чего очищенная вода поступает в купажное отделение для приготовления сиропа.

1.1.2 Приготовление сиропа

Сироп изготавливают из сахара: его по специальным трубам добавляют в очищенную воду, которую затем нагревают до 85 градусов (при такой температуре происходит пастеризация). Готовый сироп пропускают через два фильтра и охлаждают. На следующем этапе сахарный сироп перемешивают с концентратом и колером 1.5 часа, полученный купаж перекачивают в сатуратор — гигантский чан, в котором он смешивается с той самой водой из водопровода и насыщается углекислым газом.

1.1.3 Приготовление колера

Самый распространенный краситель — колер. Его получают путем нагревания сахара до температуры 180-200 0С.

Получают колер в колеровочных котлах с электрическим обогревом. Они устанавливаются в отдельных помещениях с интенсивной вентиляцией.

Котел на 25 % объема загружают сахаром, добавляют 1-2 % воды и постепенно нагревают при перемешивании до температуры 160-165 0С. Эту температуру поддерживают до приобретения сахаром бурой окраски. Затем добавляют тонкой струйкой горячую воду с температурой 75-90 0С в количестве 8 % к массе сахара и повышают температуру до 180-200 0С.

Продолжительность варки составляет 3-4 часа, колер должен образовывать упругую нить при взятии пробы. В готовый колер вносят тонкой струйкой

воду с температурой 60-65 °С из расчета получения раствора с содержанием сухих веществ 70-72 %. Полученный раствор перекачивают насосом и хранят в мерных сборниках до 3 месяцев.

1.1.4 Приготовление купажного сиропа

Купажный сироп является полуфабрикатом, используемым для приготовления газированных безалкогольных напитков. В зависимости от ассортимента напитков в него входят сахарный сироп, натуральные плодово-ягодные соки или их экстракты, концентрированные соки, кислоты, виноградные вина, краситель и ароматические вещества.

Приготовление купажных сиропов заключается в механическом смешивании компонентов, входящих в напиток того или иного наименования, за исключением газированной воды. На заводах безалкогольных напитков купажный сироп готовят холодным, горячим и полугорячим способами. Два последних способа применяют в целях уваривания компонентов купажа и повышения стойкости приготавливаемых напитков.

Для того чтобы готовый купажный сироп был кристально прозрачным, его тщательно фильтруют. Иногда вместо фильтрации сиропа практикуют фильтрацию отдельных компонентов купажа.

Плодово-ягодные экстракты перед внесением в купаж разбавляют водой в соотношении 1:5, отстаивают в течение 2-3 ч, фильтруют и только после этого вносят в купаж. Лимонную кислоту задают в купаж в виде 50%-ого водного раствора.

Молочную кислоту вводят без разбавления. При замене одной кислоты другой исходят из того, что 1 г лимонной кислоты эквивалентен 1,2 г винной или 1,4 г молочной кислоты (100%-ной). Цитрусовые настои при повышенном содержании терпенов перед использованием подвергают детерпенизации.

Холодный способ. Все полуфабрикаты вносят в купаж в холодном состоянии при перемешивании в следующем порядке: белый сахарный сироп,

плодово-ягодный сок, или экстракт, или концентрированный сок, кислоты, виноградные вина, краситель, ароматические вещества.

Для обеспечения лучшей фильтрации допускается добавлять воду в купаж с выдержкой купажа на холоде или без нее. При приготовлении купажного сиропа холодным способом напитки получают более ароматными. Обычно этим способом готовят купажные сиропы для напитков, в состав которых входят цитрусовые настои, натуральные и синтетические эссенции, композиции и концентрации напитков.

Полугорячий способ. В сироповарочный котел задают от 50 до 70% требуемых на купаж плодово-ягодных соков и вин. Затем содержимое подогревают до 50° С и при перемешивании вносят все количество сахара-песка, необходимого для приготовления купажного сиропа. После полного растворения сахара смесь доводят до кипения и кипятят 30 мин, удаляя образующуюся пену.

Смесь фильтруют в горячем состоянии и после охлаждения добавляют в нее остальное количество плодово-ягодного сока или вина, а также другие предварительно отфильтрованные составные части купажа в той же последовательности, что и при холодном способе.

Горячий способ. Отличается от полугорячего только тем, что в сироповарочный котел задают сразу все количество плодово-ягодного сока, в остальных процессах приготовления сиропа аналогичны.

При производстве купажного сиропа горячим и полугорячим способами рекомендуется организовать утилизацию спирта, выделяющегося из спиртосодержащего сырья. Для этого сироповарочный котел должен быть герметично закрыт крышкой, а спиртовые пары направлены в холодильник. Для приготовления купажных сиропов используют закрытые эмалированные, алюминиевые или из нержавеющей стали смесители — купажиры. Перемешивание смеси в купажирах большой вместимости проводится механическими мешалками или диоксидом углерода. Для обеспечения поточности производства

компоненты купажного сиропа хранят в напорных сборниках-мериниках, установленных над купажными чанами на площадке.

1.1.5 Насыщение воды или напитка диоксидом углерода

Полученный купаж перекачивают в сатуратор — гиганский чан, в котором он смешивается с той самой водой из водопровода и насыщается углекислым газом.

1.1.6 Розлив в бутылки

ПЭТ-бутылки для напитка производят на выдувной машине из симпатичной маленькой преформы. Для этого ее помещают в разогретую до 240 градусов пресс-форму, имеющую форму бутылки, куда затем под высоким давлением подается воздух, который и выдувает бутылку. После этого готовые пластиковые бутылки по специальному транспортеру подаются в цех розлива.

В цехе розлива соблюдается максимум возможных санитарных требований. Здесь находится машина розлива, одновременно выполняющая множество операций. Сюда по трубам поступает очищенная вода и готовый купажный сироп; в специальной емкости — сатураторе — их смешивают по программе, которую задает оператор (для каждого продукта — своя программа). Здесь же напиток предварительно насыщается углекислым газом. Затем напитки разливают в бутылки, дополнительно насыщают углекислотой и подают на укупорочную машину, где на бутылку под давлением навинчивается крышка.

1.1.7 Наклеивание этикеток и передача готовой продукции на склад

На каждой бутылке есть информация о дате производства и не только. Датограф проставляет также точное время с минутами, код завода, код линии и срок годности напитка.

1.1.8 Бракераж

Бутылки с напитками после укупорки и размешивания подвергаются проверке для того, чтобы установить, содержатся ли в продукте какие-либо посторонние включения и выпавшие осадки; проверяется также прозрачность напитков и этикетка.

Содержимое бутылок просматривается перед световым экраном после резкого поворачивания бутылок вверх дном. При этом тяжелые включения, находящиеся на дне бутылки, будут опускаться вниз и могут быть легко замечены браковщиком. При обнаружении каких-либо посторонних включений браковщик выводит бутылку из потока вручную или подтверждает брак. Подтверждение брака обрабатывается процессором PLC, управляющим машиной, и приводит в действие пневматическую систему для выталкивания бракованных (боксер) бутылок. Выброшенные бутылки транспортируются на специальный конвейер для сбора отходов.

1.1.9 Хранение и транспортировка продукции

На склад приходят готовые упаковки со всех заводских линий. Здесь из упаковок формируют палеты, которые затем обматывают стретч-пленкой. Готовые палеты автопогрузчик снимает с конвейера и устанавливает здесь же, на складе. В этот момент газировка полностью готова к отправке в торговые точки.

Принципиальная схема полного жизненного цикла производства представлена на Рисунке 2.



Рисунок 2 — Принципиальная схема производства

1.2 Выбор узкого места технологического процесса

Для производящих напитки предприятий актуальной становится задача достижения успеха в конкурентном соревновании за счет повышения качества производимой продукции. Чтобы завоевать доверие потребителей предприятия должны при производстве безалкогольных напитков обеспечить объективный и достоверный контроль. Был проведен анализ требований, предъявляемых к отдельным показателям качества безалкогольных напитков. Основной целью анализа было выявление наиболее значимых показателей для их последующего использования при автоматизации технологических процессов.

В результате анализа было установлено, что экспертиза качества газированных напитков проводится по трем основным направлениям:

1. Органолептическая оценка газированных напитков.

2. Оценка физико-химических показателей качества.
3. Экспертиза маркировки и упаковки.

К органолептическим показателям качества готового напитка относятся внешний вид, прозрачность, цвет, аромат и вкус.

Физико-химические методы контроля качества безалкогольных газированных напитков осуществляются на основе выявления следующих показателей:

1. Полнота налива.
2. Содержание сухих веществ в напитке.
3. Кислотность.
4. Содержание CO₂.
5. Стойкость.

При экспертизе маркировки и упаковки оценивают правильность наклейки этикетки, наличие перекосов, деформаций, разрывов, чистоту бутылок.

Отделение качественных напитков от некачественных происходит на этапе бракеража.

1.3 Описание оборудования для участка автоматизации

1.3.1 Световой экран

Световой экран — устройство инспекционной машины для просвечивания бутылок с продуктом. Световой экран представляет собой короб с источником света, закрытый матовым стеклом. Матовое стекло применяется для создания равномерного неяркого потока света, оптимального для глаз оператора.

Световой экран может применяться как отдельно (установленный на транспортер), так и в составе инспекционной машины. В последнем случае, бутылки проносятся перед ним, перевернутые вверх дном и зафиксированные в захватах бракеражного автомата.

Профиль светового экрана изображен на Рисунке 3.

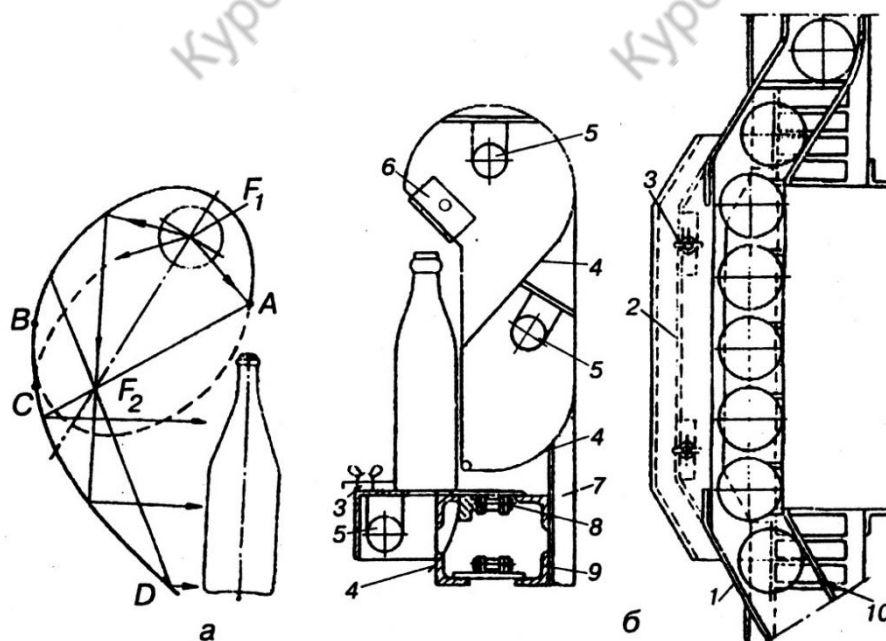


Рисунок 3 — Профиль светового экрана(а) и усовершенствованное устройство для просмотра бутылок (б)

Технические характеристики популярных моделей световых экранов представлены в Таблице 1.

Таблица 1 — Технические характеристики световых экранов

Показатели	Марка	
	ВСЭ	ОБ6-2401Б
Производительность, бут/ч	До 6000	До 6000
Вместимость просматриваемых бутылок, л	0,25; 0,33; 0,5; 0,7; 0,75	0,25; 0,33; 0,5; 0,7; 0,75
Источник свет	Люминесцентные лампы	Лампы накаливания
Габаритные размеры	1885x410x1522	612x250x460
Масса, кг	121	9,5

1.3.2 Инспекционная машина

В настоящее время из всего разнообразия визуальных инспекционных машин в отрасли наиболее распространены линейные машины с непрерывным перемещением бутылок (конвейерного типа) и просмотром их при переворачивании.

Современные машины такого типа выпускались и выпускаются под марками: БА3-6, БА32-М, АБ2-И, ЛПМ7-6010. Для примера рассмотрим машины ВИА и ВИБ. Машины различаются направлением движения бутылок

(в ВИА — слева направо, в ВИБ — справа налево).

Общий вид машины ВИА (ВИБ) показан на Рисунке 4.

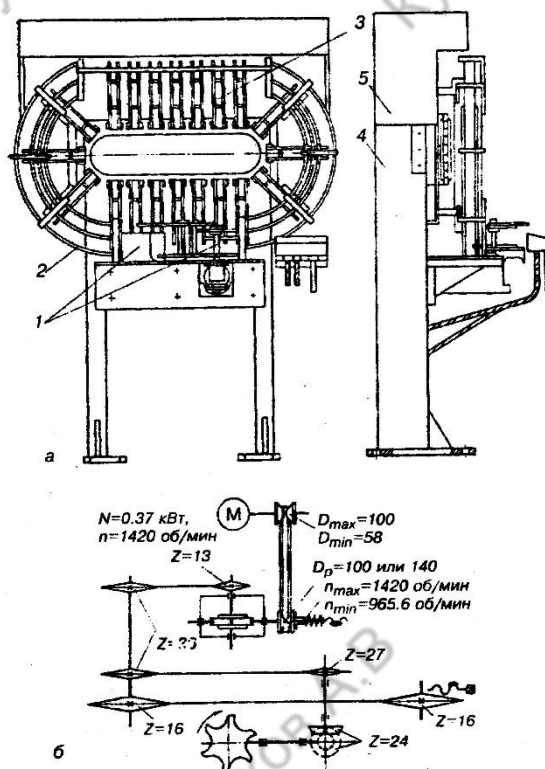


Рисунок 4 — Схема инспекционной машины ВИА

Технические характеристики популярных инспекционных машин непрерывного действия представлены в Таблице 2.

Таблица 2 — Технические характеристики линейных инспекционных машин непрерывного действия

Показатели	Марки				
	БАЗ	БАЗ-6	ВИА	ВУЛ/З	РП/МА
Производительность, бут/час	4000-6000	4000-6000	3200-6600	6600	12000
Вместимость инспектируемых бутылок, л	0,5	0,5	0,25-0,75	0,5	0,25; 0,5
Средняя длительность просмотра бутылок, с	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Мощность привода, кВт	0,27-0,4	0,27-0,4	0,37	0,63	0,6
Габаритные размеры, мм	1170x650x1700	1166x659x1632	1600x935x2000	1750x900x2100	1250x900x1725
Масса, кг	410	350	480	680	400

Световой экран в составе инспекционной машины представлен на

Рисунке 5.

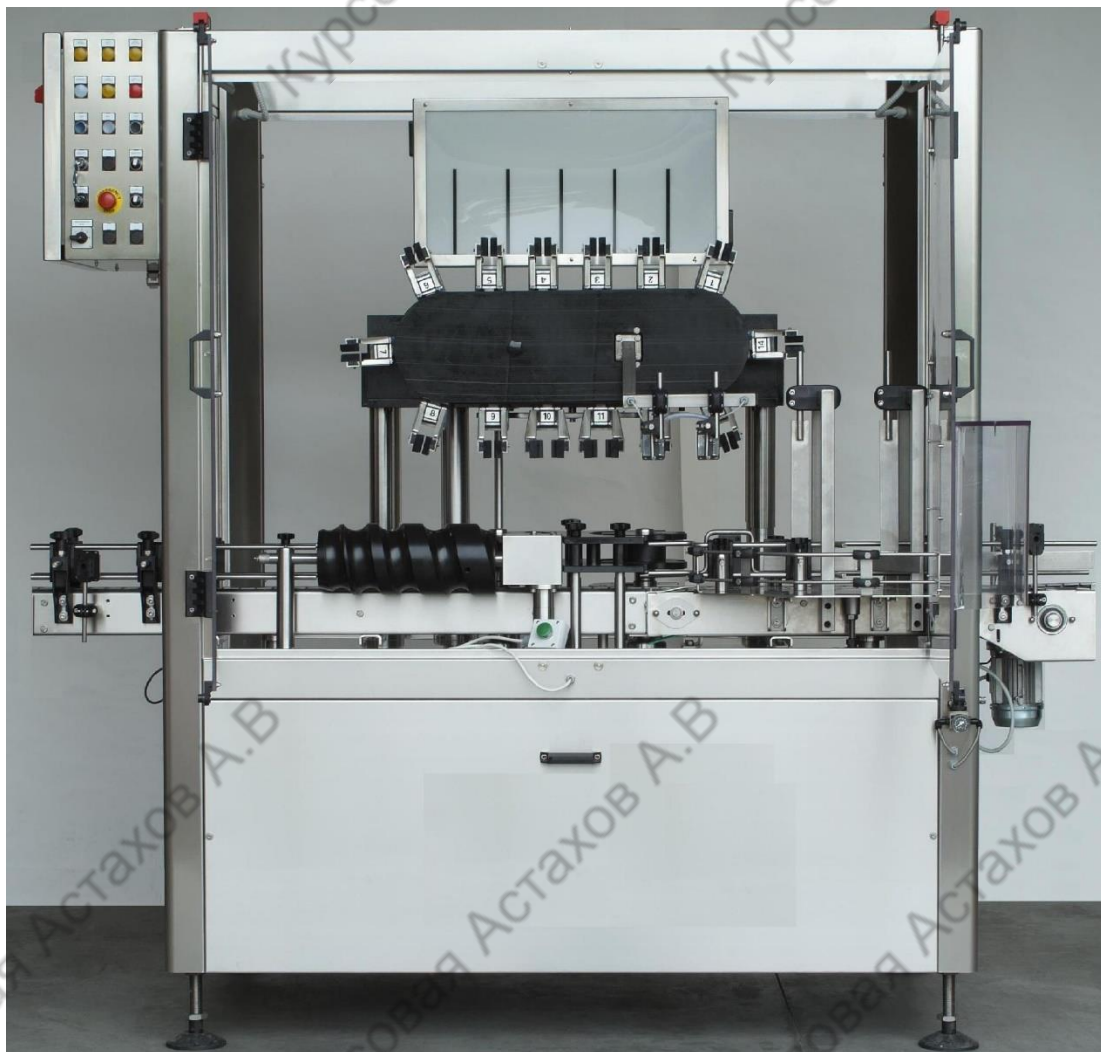


Рисунок 5 — Световой экран в составе инспекционной машины

Более современным и дорогим, но не таким распространенным, является решение об установке на производствах фотоэлектрических инспекционных машин. Установка такого оборудования позволяет избежать человеческого фактора на стадии бракеража.

Действие фотоэлектрических инспекционных машин основано на использовании фотоэлементов, реагирующих на изменение лучепропускания жидкости.

Принципиальная схема фотоэлектронного инспекционного устройства представлена на Рисунке 6.

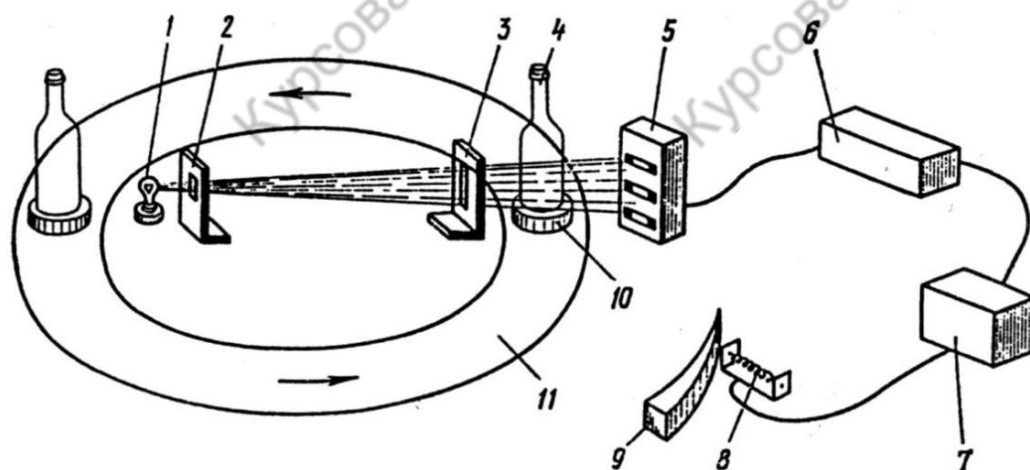


Рисунок 6 — Принципиальная схема фотоэлектронного инспекционного устройства

Бутылки (4), находящиеся на столиках (10), раскручиваются до 1500 мин-1, затем резко тормозятся. Жидкость вместе с инородными частицами (если они в ней содержатся) продолжает по инерции вращаться. При дальнейшем вращении с каруселью (11) (независимо от вращения вокруг своей оси) направленный через оптическую систему (2) и (3) световой пучок из источника света (1) пересекает вращающуюся в бутылке жидкость, а вместе с ней и поднятые со дна инородные частицы. Последние изменяют световой поток, падающий через фильтр (5) на фотоэлементы (6), которые обеспечивают при этом посылку импульса усилителя (7) через измеряющее (запоминающее) устройство (8) в бракующий механизм (9), выводящий такую бутылку из общего потока. Производительность такой машины – 24000 бут/ч.

После раскручивания и торможения воздушные пузыри, как более легкие, собираются в центральной воронке, а инородные частицы – ближе к внутренней поверхности бутылки.

Известно, что электронные устройства являются безынерционными, что имеет важное значение для машин высокой производительности.

Однако, несмотря на объективность такого контроля, имеются серьезные трудности для широкого внедрения такого рода машин в производство. Это связано с разнообразным и часто сменяющимся ассортиментом продукции на линиях упаковывания. Продукция выпускается с разными оптическими свойствами, а это вызывает необходимость частой

переналадки машины.

1.4 Возможности для автоматизации

Возможности для автоматизации процесса бракеража готовых газированных напитков вытекают из следующих существующих обстоятельств:

- необходимость избавления от человеческого фактора;
- необходимость в увеличении производственных мощностей;
- необходимость одновременной экспертизы по 3 основным направлениям;
- отсутствие экспертизы всех показателей для каждого из направлений для любой бутылки.

Декомпозиция контекстной диаграммы представлена на Рисунке 8.

1. Подготовка воды

Данная функция включает в себя все этапы подготовки воды для приготовления безалкогольных газированных напитков, соответствующих стандарту ГОСТ 28188-2014. На протяжении всех этапов подготовки, взаимодействия с водой должны происходить в помещениях, отвечающих санитарным требованиям к производственным помещениям. В цехе водоподготовки вода сперва проходит сложную и многоступенчатую систему очистки оборудованием для фильтрации, а затем сатурационные установки под давлением. Процессы очистки и насыщения контролируются датчиками и управляются ИУС и ПЛК, который использует необходимые текущие параметры оборудования. На последнем этапе получается готовая к смешиванию с сиропом вода, а также результаты о ходе процесса.

2. Приготовление сиропа и смешивание его с водой

Приготовление сиропа и смешивание его с водой происходит с соблюдением ГОСТ 28188-2014 в сиропном цехе, отвечающим санитарным требованиям к производственным помещениям. Управление процессом осуществляет ПЛК, который использует необходимые текущие параметры оборудования, ИУС и оператор, а контроль датчики. В процессе также участвуют сатурационные установки. После данного этапа получатся готовый напиток, а также результаты о ходе процесса.

3. Изготовление и подготовка бутылок

Данная функция отвечает за создание бутылок из ПЭТФ посредством машины для выдувания бутылок с помощью высокого давления, в соответствии с ГОСТ 32686-2014. Управление процессом осуществляет ПЛК, который использует необходимые текущие параметры оборудования, ИУС и оператор, а контроль датчики. Выходным результатом функции являются готовые к наполнению бутылки, а также результаты о ходе процесса.

4. Розлив и укупорка

В цехе розлива соблюдается максимум возможных санитарных требований. В соответствии с ГОСТ Р 51153-08 о методе определения

двуокиси углерода, основанном на измерении давления в газовом пространстве над напитком в укупоренной бутылке, происходит укупорка напитка. Перед этим, посредством машины для розлива газированных напитков, напиток попадает в бутылку. Управление процессом осуществляет ПЛК, который использует необходимые текущие параметры оборудования, и ИУС, а контроль датчики. На выходе функции получается готовый напиток в бутылке, а также результаты о ходе процесса.

5. Эtiquетировка

В соответствии с ГОСТ Р 52844-2007 и ГОСТ 51074 происходит нанесение этикетки на бутылку с газировкой. Управление процессом осуществляет ПЛК, который использует необходимые текущие параметры оборудования, и ИУС, а контроль датчики. На выходе функции получается уже неотличимый от магазинного напиток, но с возможным браком, а также результаты о ходе процесса.

6. Бракераж

Данная функция позволяет убирать бракованные изделия с конвейера с помощью действий оператора, использующего бракеражную установку. Управление процессом осуществляет ПЛК, который использует необходимые текущие параметры оборудования, и ИУС, а контроль датчики. Функция регулируются различными нормативами и ГОСТ Р700-2022. На выходе функции получается готовый или отбракованный напиток, а также результаты о ходе процесса.

Описание функций модели декомпозиции бракеража диаграммы IDEF0:

1. Проверка герметичности напитка

Под данной функцией подразумевается этап, в котором посредством бракеражного оборудования проверяется герметичность бутылки и ее формы. Используется метод двойного обнаружения утечки с общим испытанием герметичности уплотнения + обнаружением микроутечек, что позволяет автоматически определять результаты испытания и обеспечивает точность результатов. С помощью метода общего испытания герметичности

уплотнения можно обнаружить очевидное состояние утечки (с непрерывным образованием пузырьков) между колпачком и горлышком, в то время как микроутечка (с размерами в мкм) может быть пропущена. Обнаружение микроутечек эффективно компенсирует недостатки метода общего испытания герметичности уплотнения, оно позволяет обнаруживать колебания давления, вызванные микроутечками, значительно снижает вероятность неправильного суждения, фактически обеспечивая автоматическое обнаружение и точное определение. Управление процессом осуществляет ПЛК, который использует необходимые текущие параметры оборудования, и ИУС, а контроль датчики. Функция регулируются нормативами герметичности и формы бутылки. Выходом функции служат герметичная и целая бутылка с напитком и данные о ходе процесса.

2. Органолептическая оценка газированных напитков

В данной функции заключен этап, на котором оператор проверяет цвет и прозрачность, а соответственно и наличие мути, осадков и лишних предметов в бутылке. Бутылка переворачивается доньшком вверх напротив светового экрана. Управление процессом осуществляет ПЛК, который использует необходимые текущие параметры оборудования, оператор и ИУС. Функция регулируется нормативами цвета бутылки. Результатом экспертизы служит герметичная и целая бутылка без примесей и данные о ходе процесса.

3. Оценка физико-химических показателей качества

Данная функция проверяет посредством бракеражного оборудования, показаний датчиков и оператора целостность и уровень напитка. Функция регулируется соответствующими нормативами. Управление процессом осуществляет ПЛК, который использует необходимые текущие параметры оборудования, и ИУС. Результатом экспертизы служит готовый напиток с должным уровнем налива.

4. Экспертиза маркировки и упаковки

Данная функция проверяет посредством бракеражного оборудования, показаний датчиков и компьютерного зрения корректность этикетки и

маркировки напитка. Функция регулируются ГОСТ Р 52844-2007 и ГОСТ Р 51074. Управление процессом осуществляет ПЛК, который использует необходимые текущие параметры оборудования, и ИУС. Результатом экспертизы служит готовый напиток и данных о технологическом процессе.

5. Раскупорка и слив содержимого бутылок

Данная функция служит для утилизации бракованных бутылок. Руководствуясь ГОСТ Р 70083-2022 оператор взаимодействует оборудованием посредством подтверждения брака, и бутылка сходит с производственной линии. Управление процессом осуществляет ПЛК, который использует необходимые текущие параметры оборудования, оператора и ИУС. Результатом функции являются данные ходе технологического процесса и отбракованный напиток.

2.1.2 Анализ с использованием нотации DFD

На Рисунке 10 приведена контекстная диаграмма процесса «Бракераж» в нотации DFD, которая иллюстрирует потоки данных.

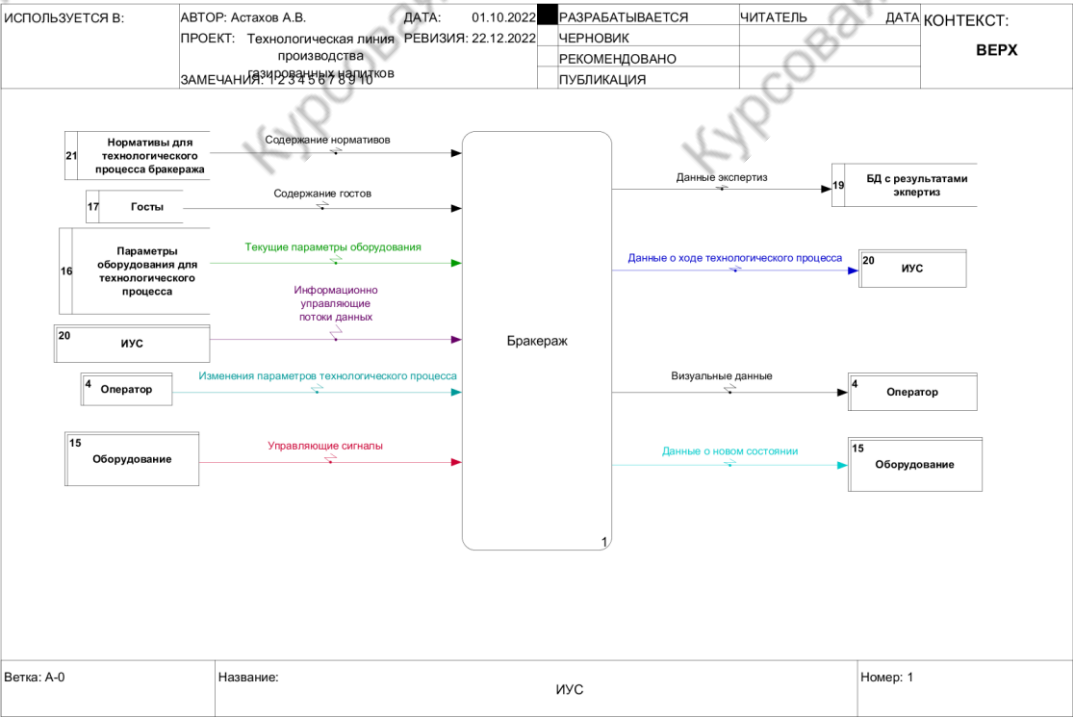


Рисунок 10 — Контекстная диаграмма потоков данных

На диаграмме отображены внешние объекты, взаимодействующих на обозначенный этап производства. ИУС, оператор и оборудование имеют

двустороннюю связь с функциональным блоком «бракераж». Входными потоками являются хранилища данных, содержащие ГОСТЫ и нормативы внутренних экспертиз, а также параметры оборудования. Данные экспертиз являются выходным потоком.

Декомпозиция контекстной диаграммы потоков данных автоматизируемого участка представлена на Рисунке 11.

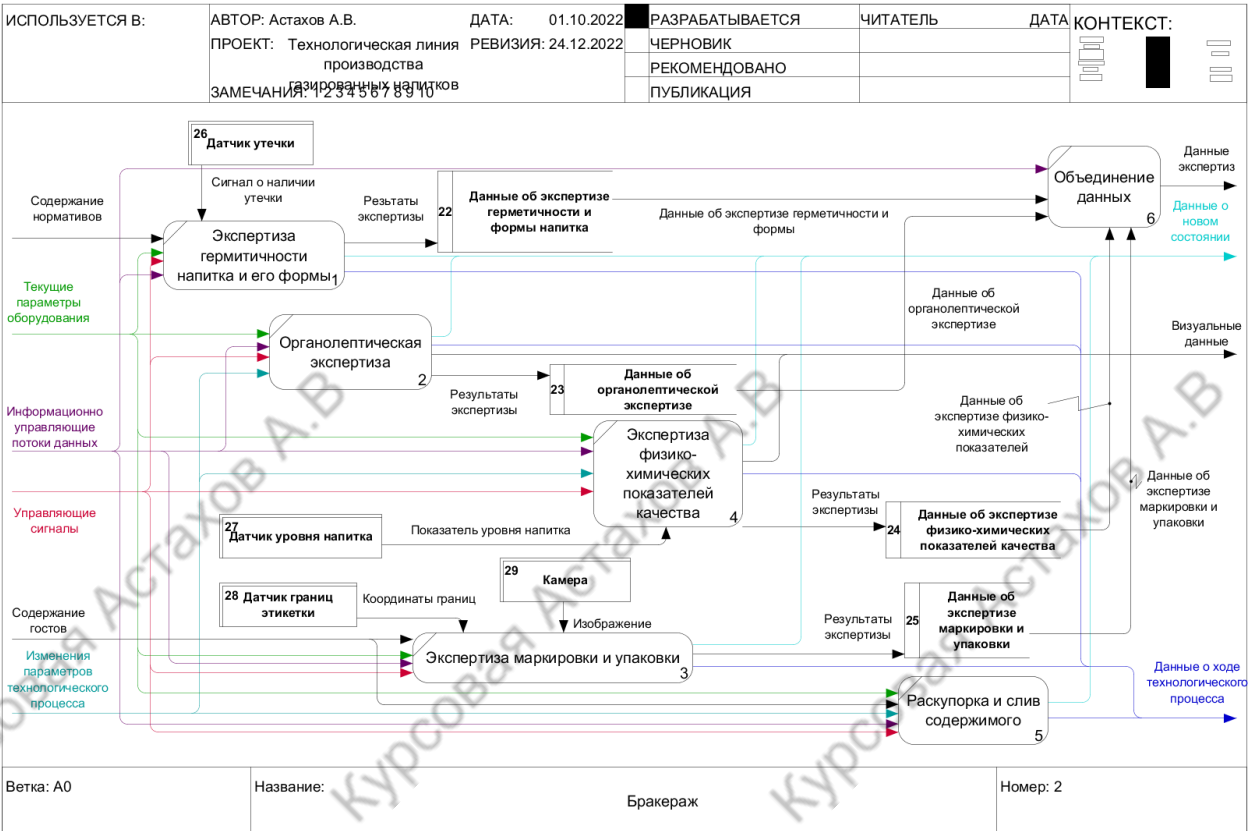


Рисунок 11 — Декомпозиция контекстной диаграммы потоков данных автоматизируемого участка

Описание входных и выходных потоков данных для функциональных блоков представлено в Таблице 3.

Таблица 3 — Входные и выходные потоки данных функциональных блоков

Название	Входные потоки	Выходные потоки
Экспертиза герметичности напитка и его формы	Текущие параметры оборудования, содержание нормативов, управляющие сигналы, сигнал о наличии утечки, информационно-управляющие потоки данных	Результаты экспертизы, данные о новом состоянии, данные о ходе технологического процесса

Окончание Таблицы 3

Органолептическая экспертиза	Текущие параметры оборудования, управляющие сигналы, изменения параметров технологического процесса, информационно-управляющие потоки данных	Данные о новом состоянии, визуальные данные, результаты экспертизы, данные о ходе технологического процесса
Экспертиза физико-химических показателей	Текущие параметры оборудования, управляющие сигналы, информационно-управляющие потоки данных, изменения параметров технологического процесса, показатель уровня напитка	Данные о новом состоянии, визуальные данные, результаты экспертизы, данные о ходе технологического процесса
Экспертиза маркировки и упаковки	Текущие параметры оборудования, содержание гостов, информационно-управляющие потоки данных, управляющие сигналы, координаты границ, изображение	Данные о новом состоянии, результаты экспертизы, данные о ходе технологического процесса
Раскупорка и слив содержимого	Текущие параметры оборудования, содержание гостов, информационно-управляющие потоки данных, управляющие сигналы	Данные о новом состоянии, данные о ходе технологического процесса
Объединение данных	Информационно-управляющие потоки данных, результаты экспертизы герметичности, результаты, органолептической экспертизы, результаты физико-химической экспертизы, результаты экспертизы маркировки и упаковки	Данные экспертиз

2.1.3 Анализ с использованием нотации BPMN

Первая треть диаграммы в автоматизированного участка в нотации BPMN представлена на Рисунке 12.

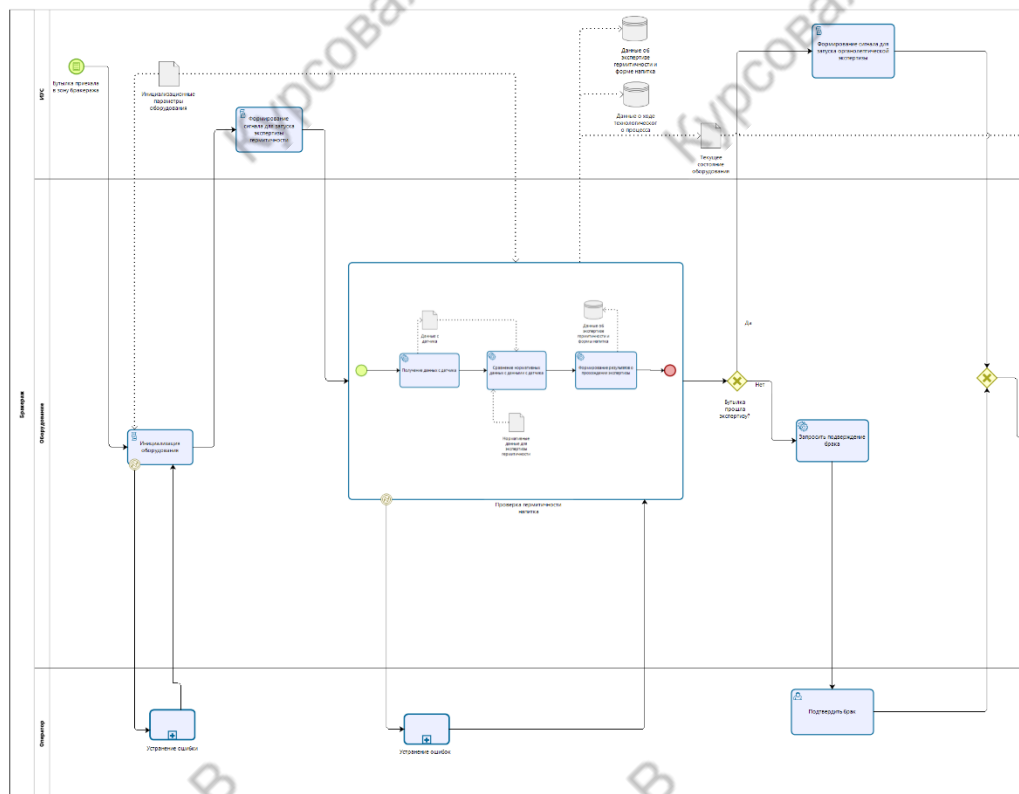


Рисунок 12 — Первая треть диаграммы BPMN автоматизируемого участка

Триггером для начала процесса служит сигнал для ИУС о наличии бутылки в начале зоны инспекционного контроля. ИУС подает команду для запуска скрипта инициализации оборудования с необходимыми параметрами. При ошибке инициализации, ее решением занимается оператор. Далее ИУС формирует управляющие потоки данных для запуска экспертизы герметичности с использованием инициализационных параметров оборудования для начала процесса.

Развертка подпроцесса экспертизы герметичности представлена на Рисунке 13.

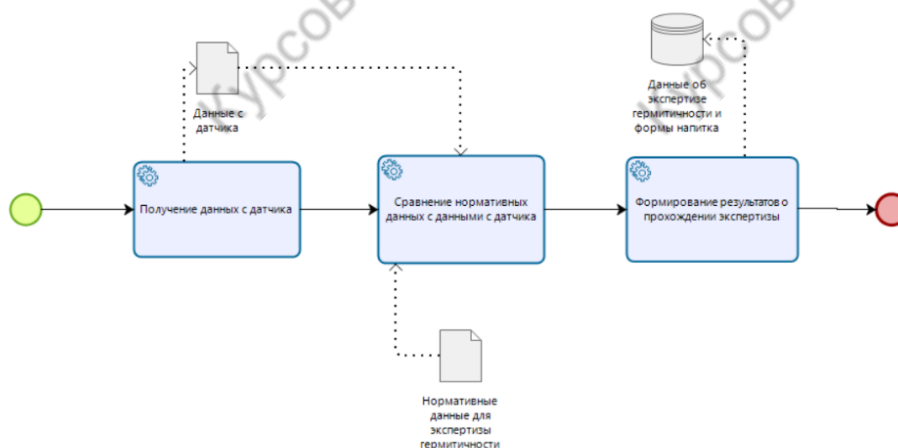


Рисунок 13 — Развертка подпроцесса экспертизы герметичности

Экспертиза герметичности напитка начинается с получения показаний с соответствующего датчика. Затем полученные данные автоматически сравниваются с необходимыми параметрами датчика. В результате формируются данные об экспертизе, о ходе технологического процесса и о состоянии оборудования на данный момент. При любых технических ошибках экспертиз, как здесь, так и в последующих, их устранением занимается оператор.

В зависимости от результатов автоматической экспертизы, дальнейших ход процесса идет либо формирование сигнала для следующей экспертизы, либо в необходимость подтверждения брака оператором и само подтверждение.

В соответствии с параметрами оборудования после предыдущего процесса, запускается новая экспертиза, основную роль в которой играет оператор. За счет изменения положения бутылки и запуска светового экрана, оператор проверяет напиток. Руководствуясь нормативами органолептической экспертизы. В зависимости от результата проверки, оператор либо подтверждает брак и заносит информацию об экспертизе в систему, либо выполняет только второй пункт. Положение бутылки меняется в исходное, система передает текущее состояние оборудования и данные о ходе процесса.

Вторая треть диаграммы BPMN автоматизируемого участка

представлена на Рисунке 14.

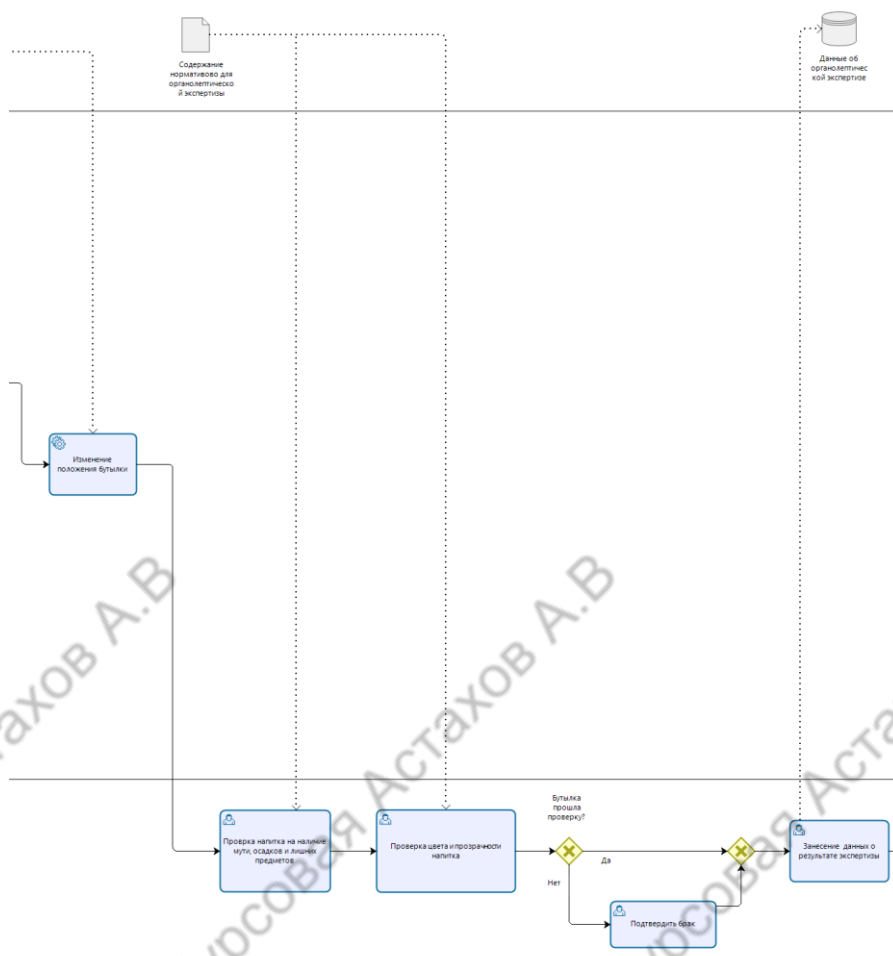


Рисунок 14 — Вторая треть диаграммы BPMN автоматизируемого участка

Далее, аналогично предыдущим, проходит экспертиза физико-химических показателей.

Заключительная треть диаграммы BPMN автоматизируемого участка представлена на Рисунке 15.

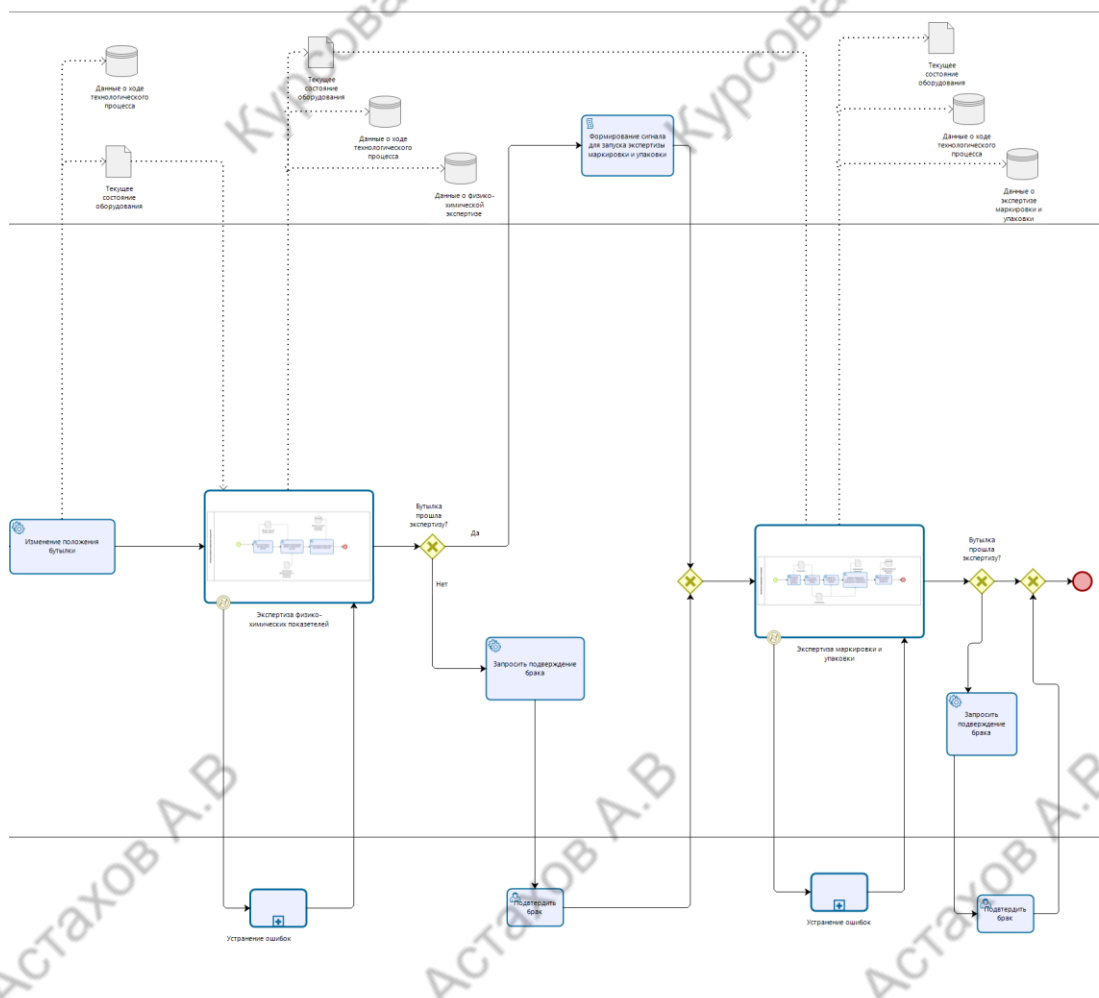


Рисунок 15 — Заключительная треть диаграммы BPMN автоматизируемого участка

Развертка подпроцесса экспертизы герметичности представлена на Рисунке 16.

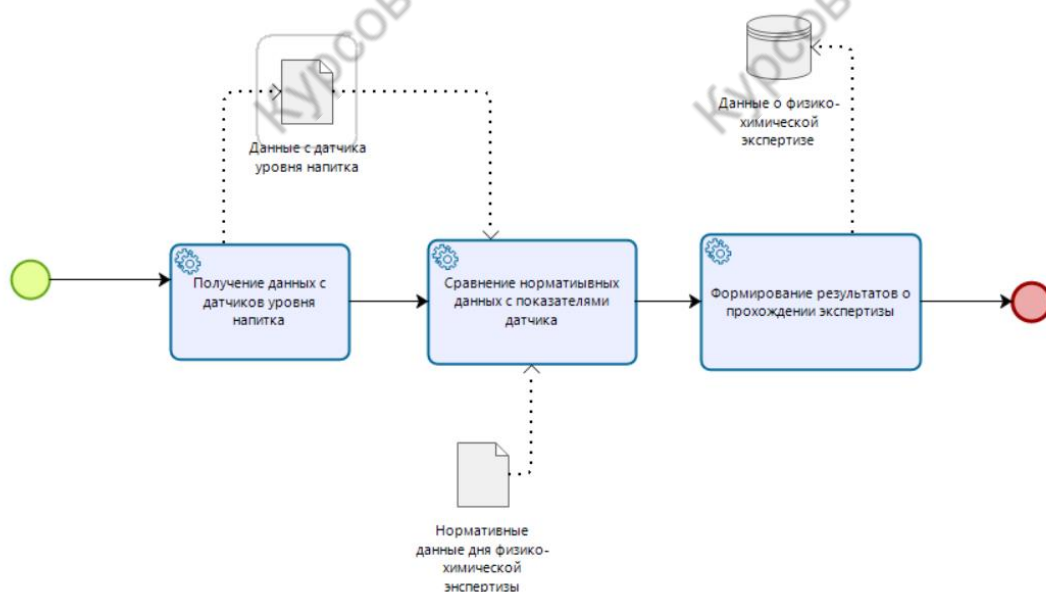


Рисунок 16 — Развертка подпроцесса экспертизы физико-химических показателей

В случае успешной физико-химической экспертизы наступает этап проверки этикетки и маркировки. Датчики получают координаты краев этикетки, далее происходит снимок. После обработки изображения и сравнения результатов сравнения параметров формируются данные экспертизы.

Развертка подпроцесса экспертизы маркировки и упаковки представлена на Рисунке 17.

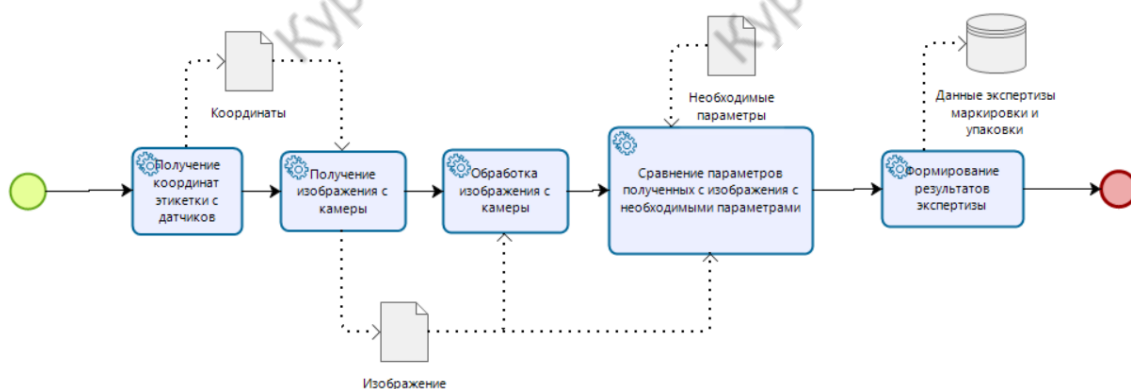


Рисунок 17 — Развертка подпроцесса экспертизы маркировки и упаковки

2.2 Модель данных

2.2.1 Логическая модель данных

Логическая модель базы данных представлена на Рисунке 18.

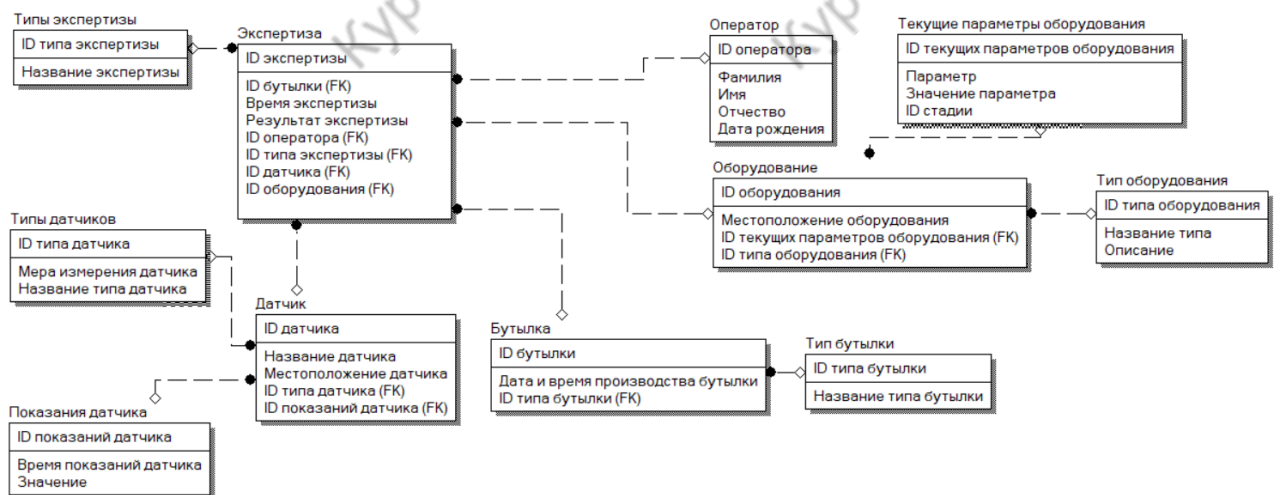


Рисунок 18 — Логическая модель базы данных

В схеме представлено 11 таблиц. Таблица «экспертиза» является главной и результирующей таблицей. Каждая экспертиза обладает уникальным идентификатором, уникальным номером бутылки, над которой производилась инспекция, время экспертизы, результат экспертизы, уникальный идентификатор ответственного оператора, номер типа экспертизы, уникальный идентификатор датчика, использовавшегося в экспертизе, и уникальный идентификатор оборудования. По вспомогательной таблице «Типы экспертизы» можно определить ее название. По таблице «оператор» можно определить имя, фамилию, отчество и дату рождения оператора. Таблицы «бутылка» и «тип бутылки» можно определить дату и время производства бутылки и ее тип соответственно. Группа таблиц, в названии которых есть слово «датчик», отвечает за все информацию, связанную с ними. Данные таблицы определяют тип и меру измерения датчика, его местоположение и показания со временем. Группа таблиц, в названии которых есть слово «оборудование», содержит аналогичную информацию, соответствующую оборудованию.

2.2.2 Физическая модель данных

Физическая модель базы данных представлена на Рисунке 19.

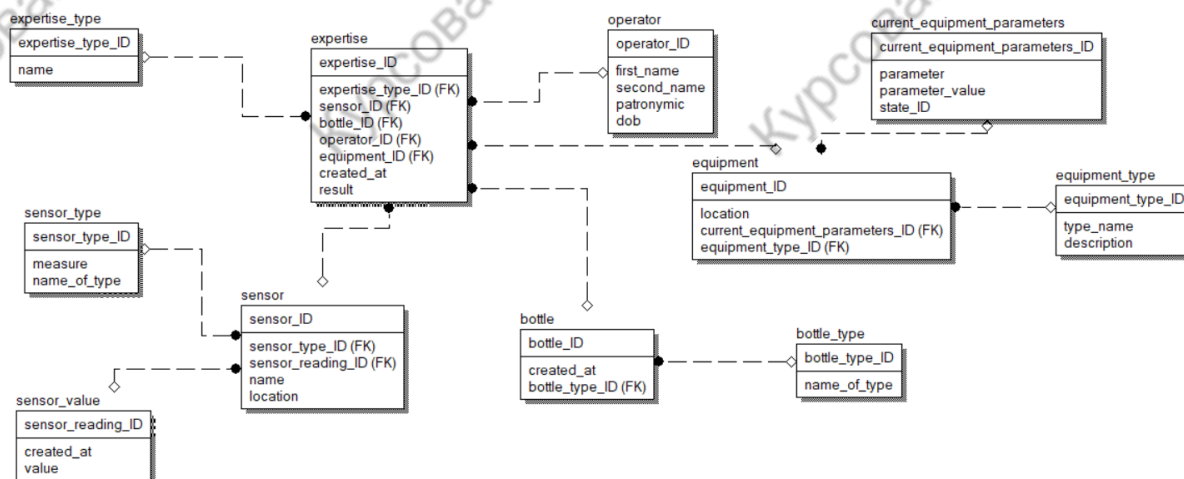


Таблица полей базы данных представлена в Таблице 4.

Название	Тип данных	Описание
expertise_type		
expertise_type_ID	INTEGER	ID типа экспертизы
name	VARCHAR(255)	Название экспертизы
sensor_type		
sensor_type_ID	INTEGER	ID типа датчика
measure	VARCHAR(255)	Мера измерения датчика
name_of_type	VARCHAR(255)	Названия типа датчика
sensor_value		
sensor_reading_ID	INTEGER	ID показаний датчика
created_at	DATETIME	Время показаний датчика
value	FLOAT	Значение
sensor		
sensor_ID	INTEGER	ID датчика
sensor_type_ID(FK)	INTEGER	ID типа датчика
sensor_reading_ID(FK)	INTEGER	ID показаний датчика
name	VARCCHAR(255)	Название датчика
location	VARCHAR(255)	Местоположение датчика
bottle		
bottle_ID	INTEGER	ID бутылки
created_at	DATETIME	Дата и время производства бутылки
bottle_type_ID(FK)	INTEGER	ID типа бутылки
bottle_type		
bottle type ID	INTEGER	ID типа бутылки

Окончание Таблицы 4

name_of_type	VARCHAR(255)	Название типа бутылки
equipment_type		
equipment_type_ID	INTEGER	ID типа оборудования
type_name	VARCHAR(255)	Название типа
description	VARCHAR(255)	Описание
current_equipment_parameters		
current_equipment_parameters_ID	INTEGER	ID текущих параметров оборудования
parameter	VARCHAR(255)	Параметр
parameter_value	FLOAT	Значения параметра
state_ID	INTEGER	ID стадии
equipment		
equipment_ID	INTEGER	ID оборудования
location	VARCHAR(255)	Местоположение
current_equipment_parameters_ID (FK)	INTEGER	ID текущих параметров оборудования
equipment_type_ID(FK)	INTEGER	ID типа оборудования
operator		
operator_ID	INTEGER	ID оператора
first_name	VARCHAR(255)	Имя
second_name	VARCHAR(255)	Фамилия
patronymic	VARCHAR(255)	Отчество
dab	DATETIME	Дата рождения
expertise		
created_at	DATETIME	Дата и время экспертизы
result	VARCHAR(255)	Результат экспертизы
operator_ID(FK)	INTEGER	ID оператора
equipment_ID(FK)	INTEGER	ID оборудования
bottle_ID(FK)	INTEGER	ID бутылки
sensor_ID(FK)	INTEGER	ID датчика
expertise_type_ID(FK)	INTEGER	ID типа экспертизы

2.3 Модель архитектуры

2.3.1 Моделирование архитектуры в нотации UML

Диаграмма компонентов представлена на Рисунке 20.

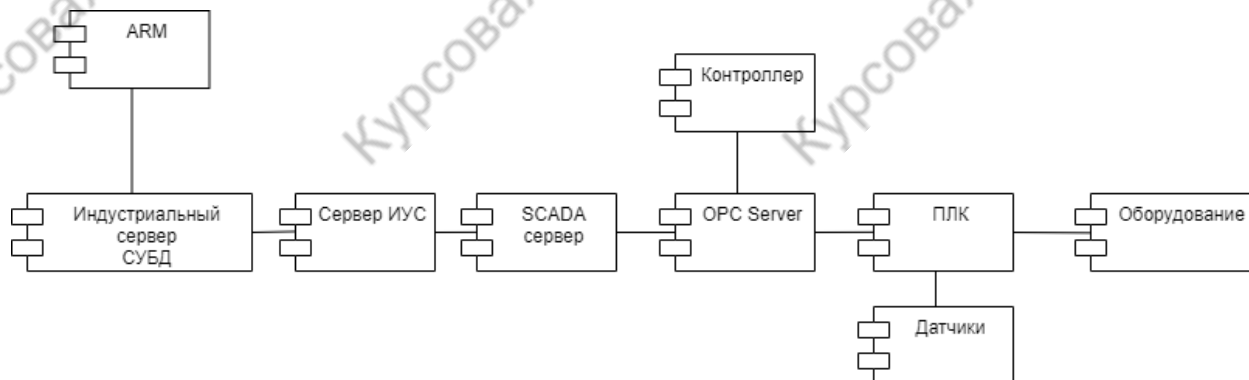


Рисунок 20 — Диаграмма компонентов

Диаграмма развертывания представлена на Рисунке 21.

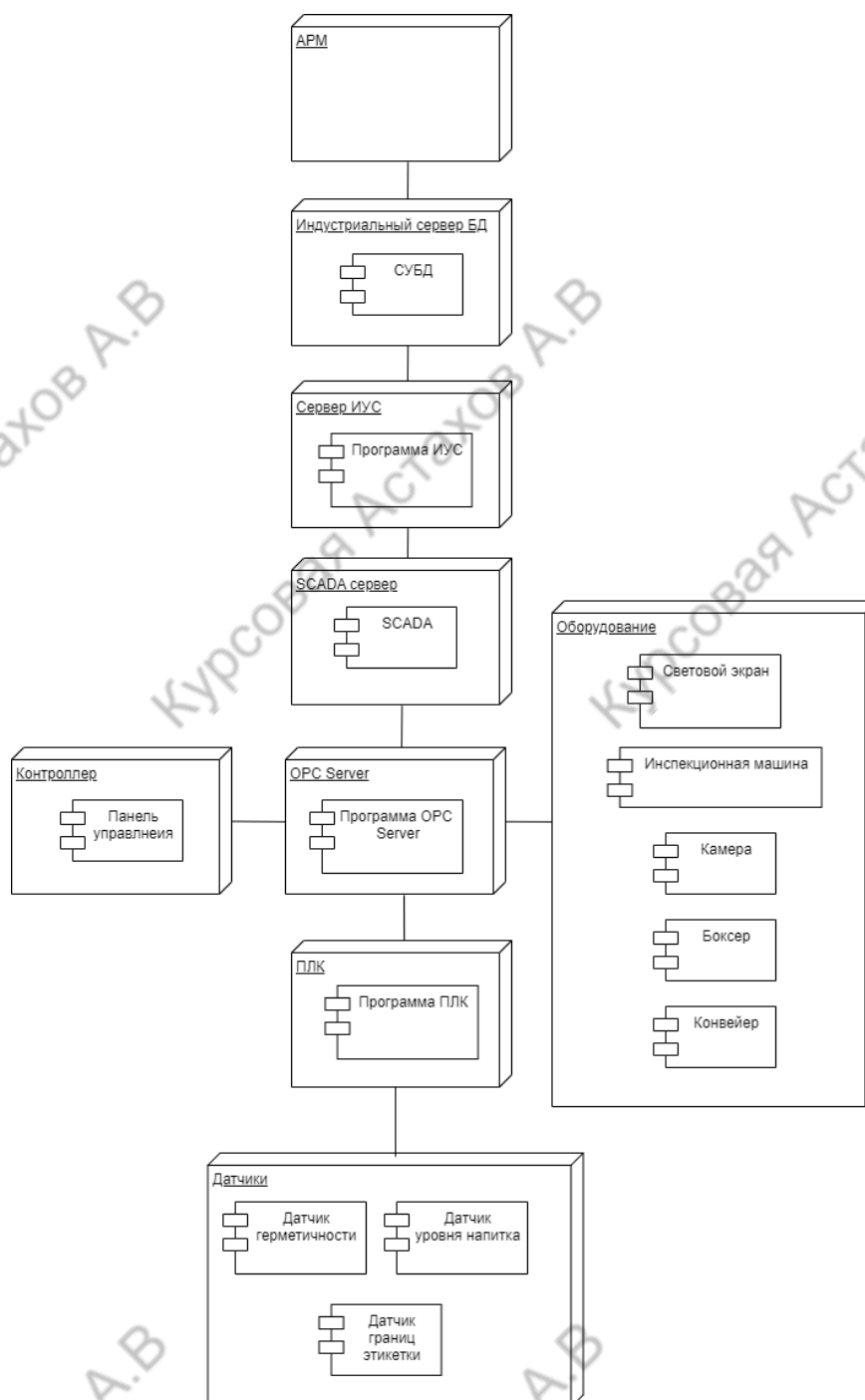


Рисунок 21 — Диаграмма развертывания

3 МАТЕМАТИЧЕСКОЕ ОБЕСПЕЧЕНИЕ

3.1 Модель конечного автомата

Модель конечного автомата представлена на Рисунке 22.

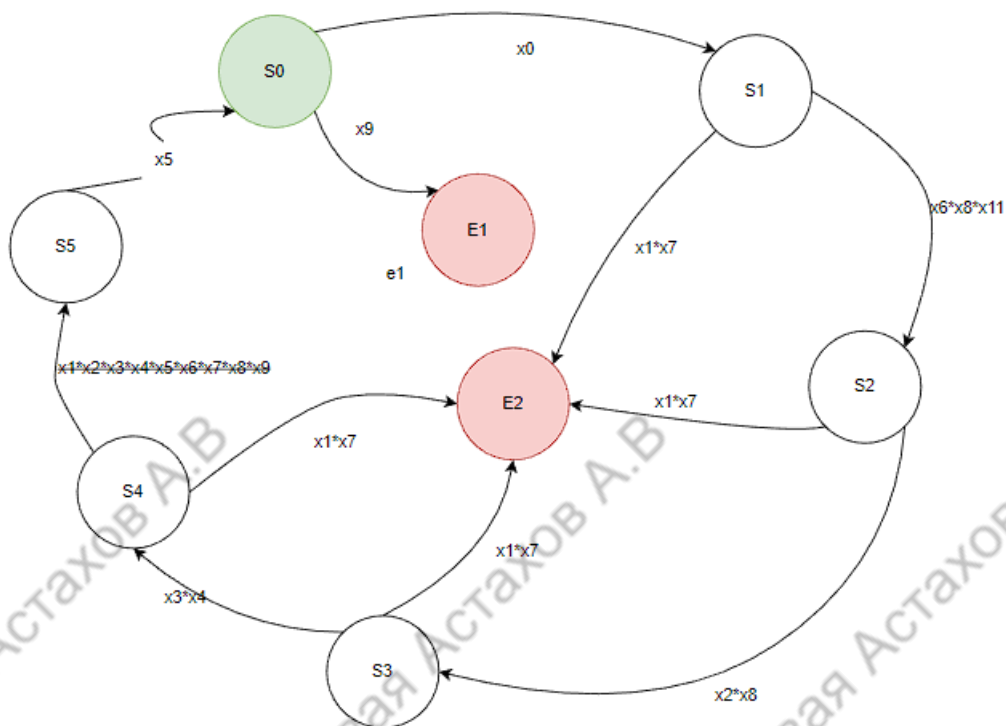


Рисунок 22 — Модель конечного автомата

Описание состояний конечного автомата представлены в Таблице 5.

Таблица 5 — Таблица состояний конечного автомата

№	Название	S0	S1	S2	S3	S4	S5	E1	E2
x0	Датчик герметичности	-	1	-	-	-	0	-	-
x1	Подтверждение оператора	-	-	-	-	-	0	-	1
x2	Датчик уровня напитка	-	-	-	1	-	0	-	-
x3	Датчик границ этикетки	-	-	-	-	1	0	-	-
x4	Работа камеры	-	-	-	-	1	0	-	-

Окончание Таблицы 5

x5	Инициализация системы	1	-	-	-	-	0	-	-
x6	Работа светового экрана	-	-	1	-	-	0	-	-
x7	Работа боксера	-	-	-	-	-	0	-	1
x8	Положение бутылки	-	-	1	1	-	0		
x9	Ошибка инициализации системы	-	-	-	-	-	0	1	-
x10	Сброс оборудования	0	-	-	-	-	1	-	-
x11	Результат экспертизы от оператора	-	-	1	-	-	0	-	-
e1	Сигнал ошибки инициализации системы	-	-	-	-	-	0	1	-

3.2 Алгоритм

Алгоритм работы автоматизации узкого участка будет представлен в виде блок-схемы. На Рисунках 23-26 представлена блок-схема алгоритма:

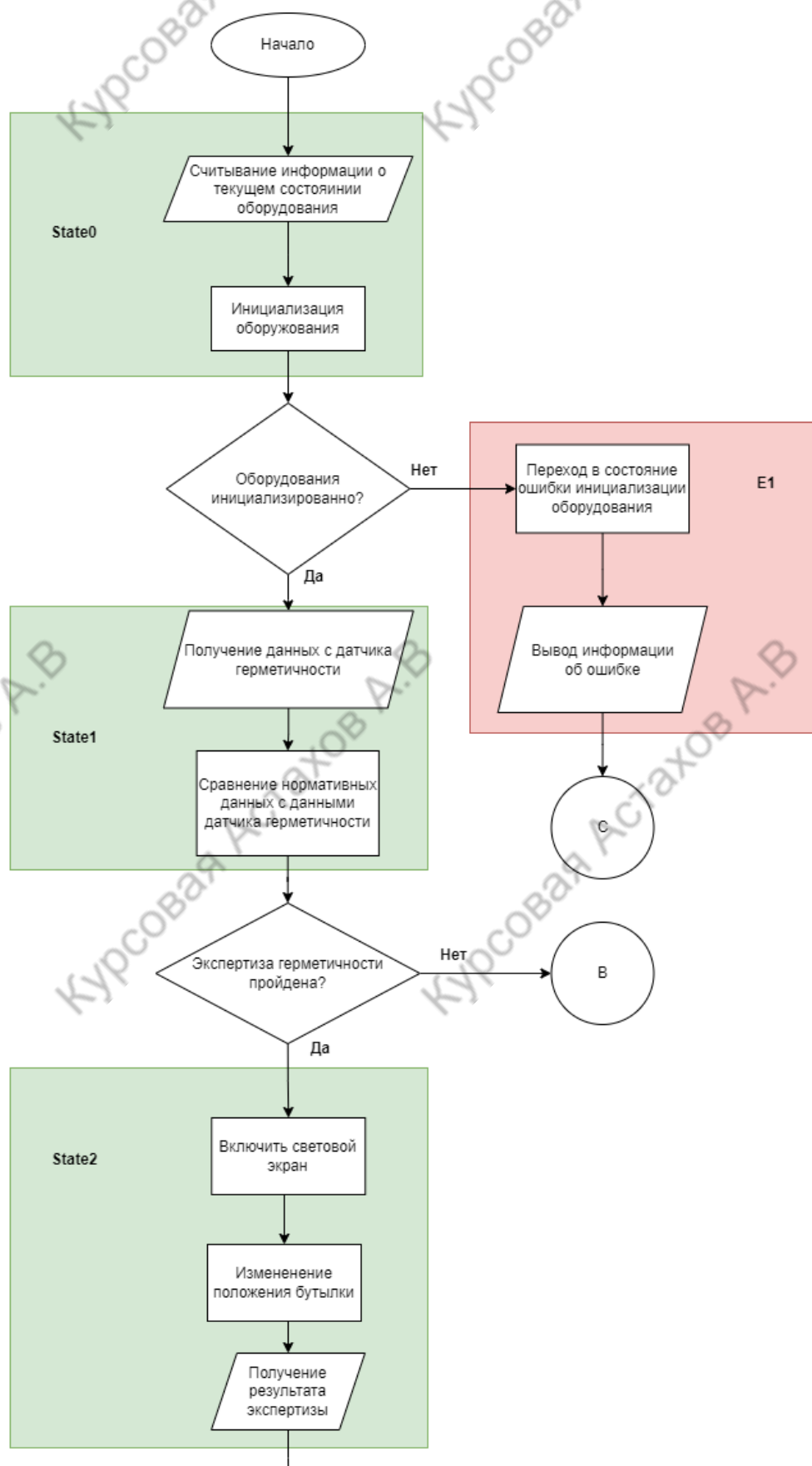


Рисунок 23 — Часть блок схемы алгоритма

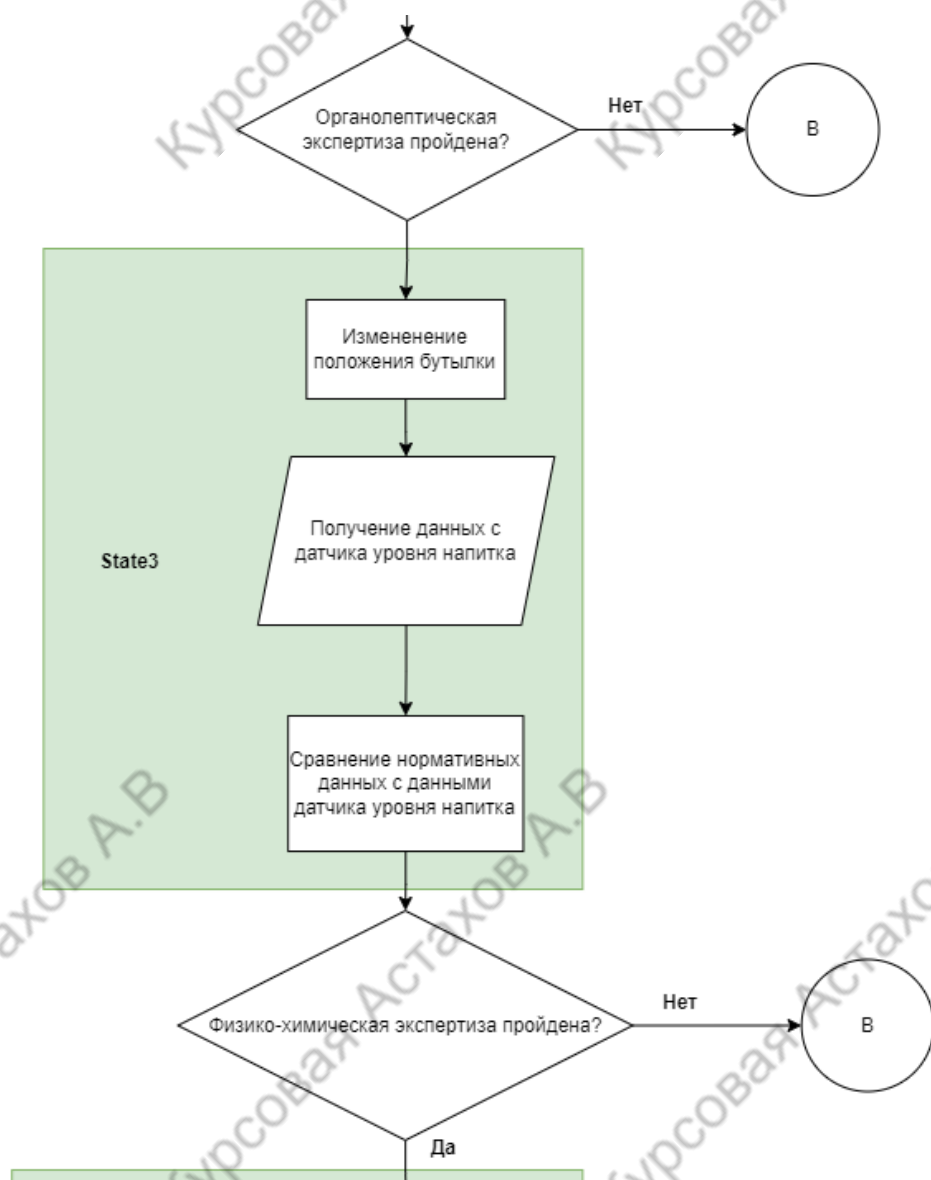


Рисунок 24 — Часть блок схемы алгоритма

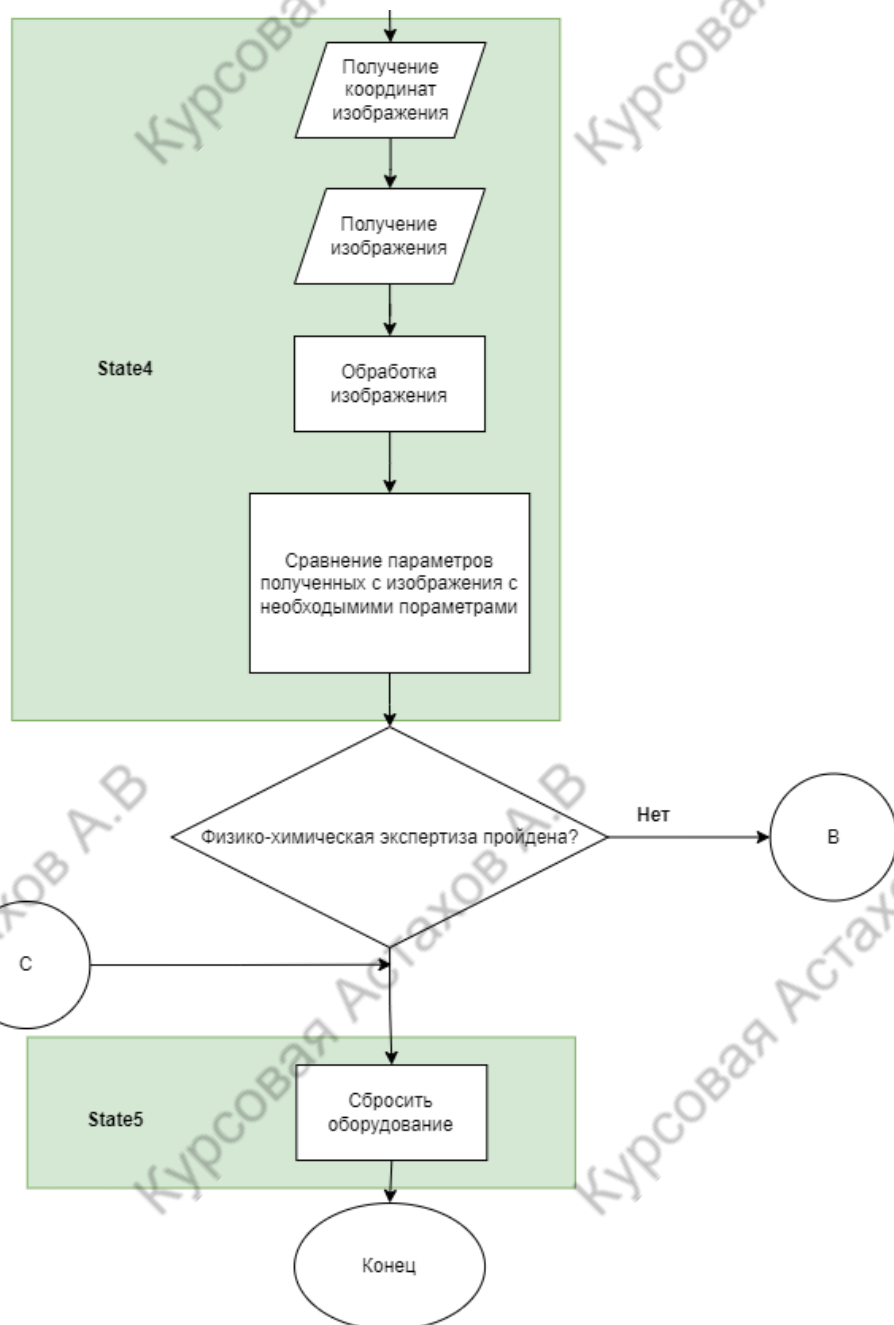


Рисунок 25 — Часть блок схемы алгоритма

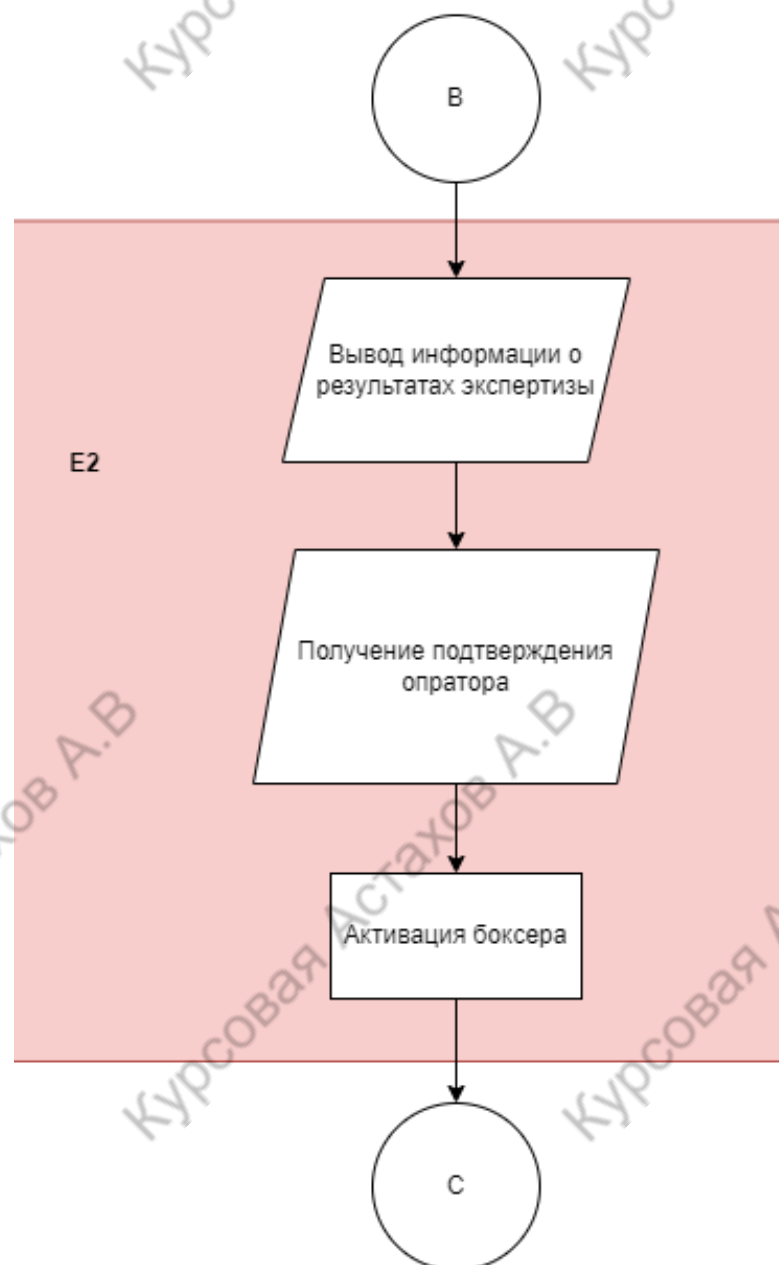


Рисунок 26 — Часть блок схемы алгоритма

4 ДИНАМИЧЕСКОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ

На Рисунках 27-29 представлена сцена моделирования технологического процесса с разных ракурсов в программном обеспечении Visual Component.

На Рисунке 27 можно увидеть следующие этапы технологического процесса:

1. Бракераж.
2. Эtiquетировка.
3. Укупорка.
4. Розлив воды в бутылки.
5. Розлив купажного сиропа.

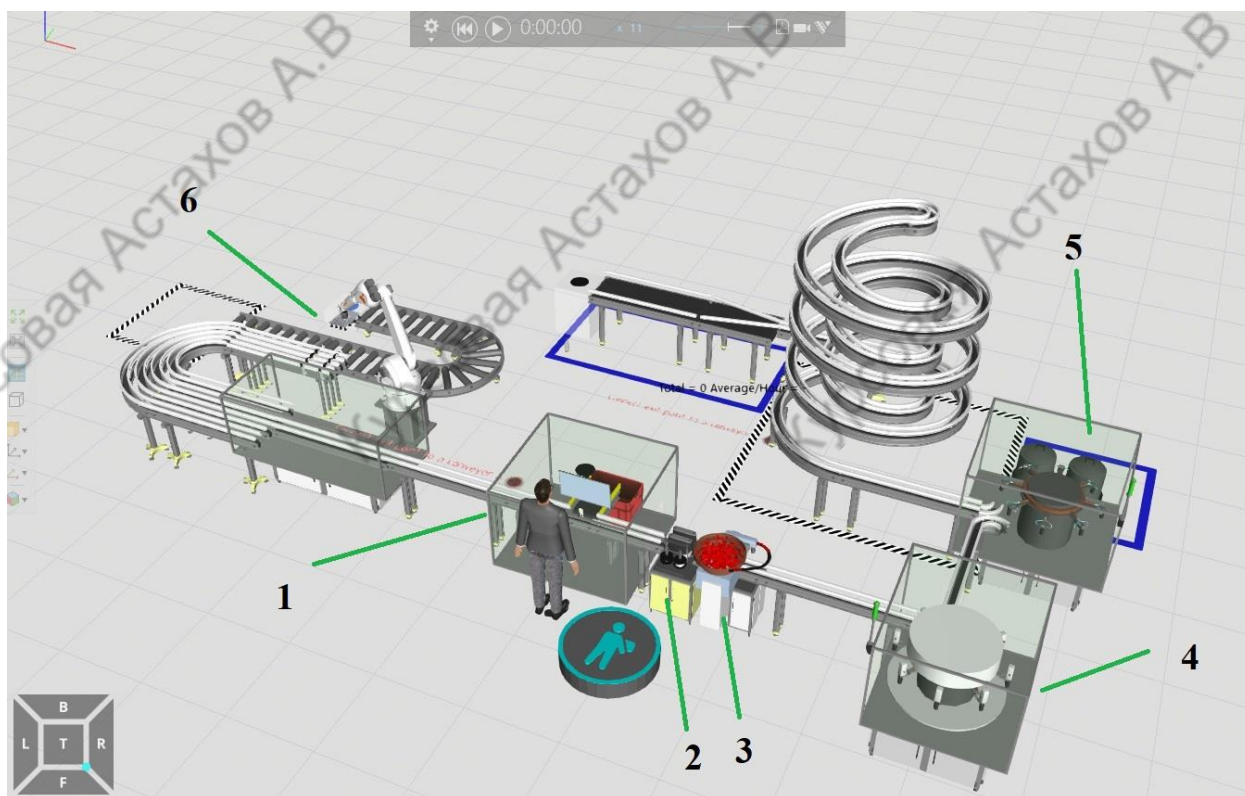


Рисунок 27 — Сцена динамического моделирования Visual Component

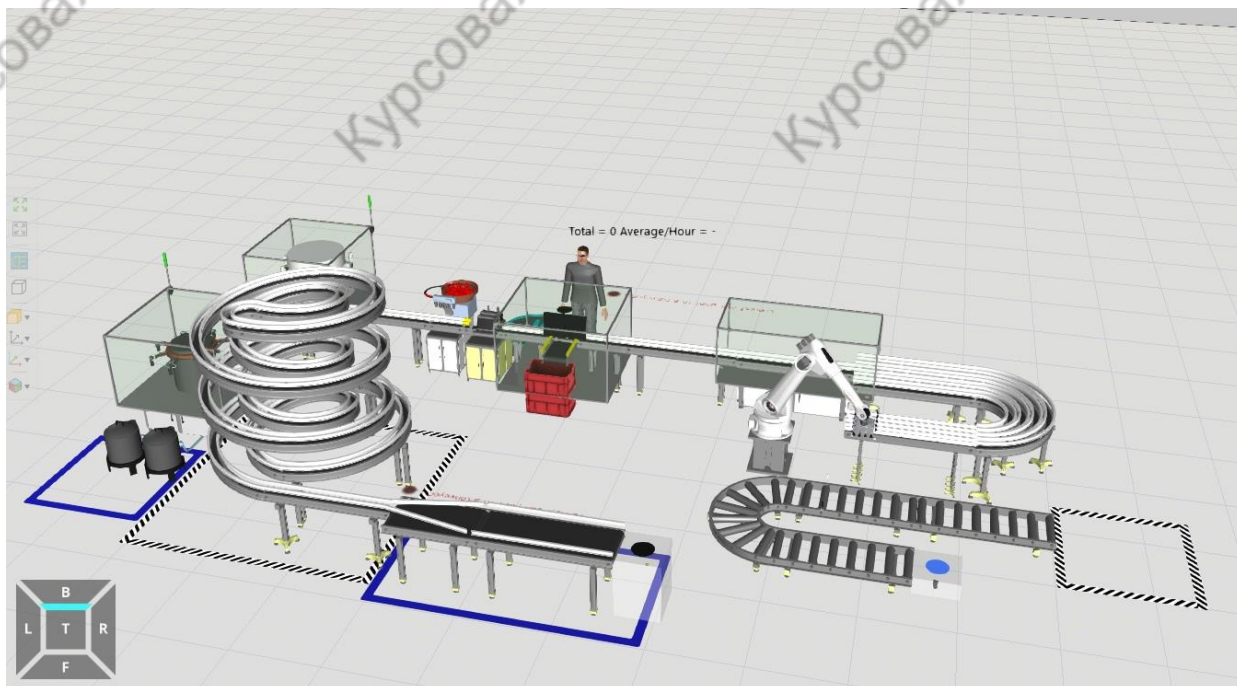


Рисунок 28 — Сцена динамического моделирования Visual Component

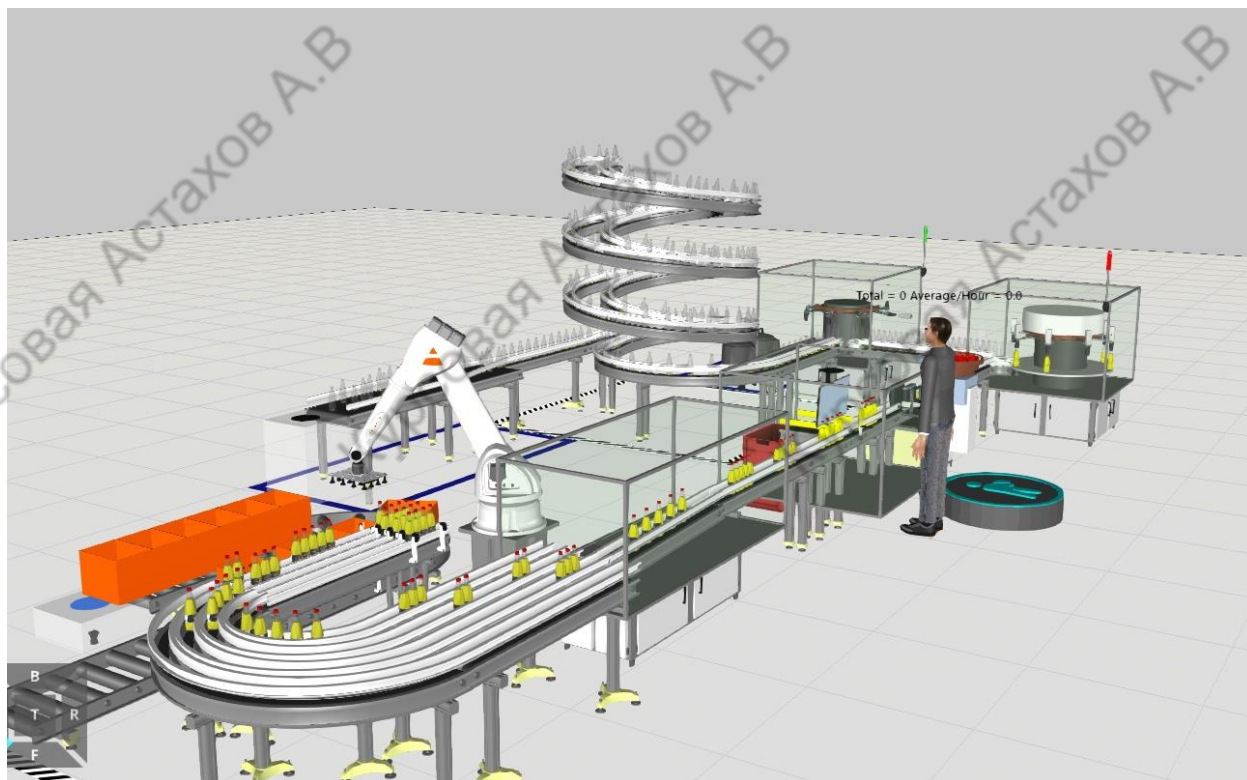


Рисунок 29 — Сцена динамического моделирования Visual Component

5 ТРЕБОВАНИЯ К ОБЕСПЕЧЕНИЮ

Требования к обеспечению ИУС в данном разделе описаны в соответствии с пунктами 4.6 из ГОСТ 34.602-2020.

5.1 Требования к структуре ИУС в целом

5.1.1 Перечень подсистем ИУС и их назначение

Информационно-управляющая система процесса приготовления теста включает в себя следующие подсистемы:

- подсистема взаимодействия с оператором;
- подсистема управления;
- подсистема вывода ошибок;
- подсистема анализа.

Подсистема вывода ошибок отвечает за получение данных с контролера и отображение данных оператору путем передачи их в SCADA, подсистема взаимодействия с оператором – за изменение хода технологического процесса со стороны оператора, подсистема управления – за передачу управляющего сигнала необходимому оборудованию, подсистема анализа – за анализ и обработку показаний с датчиков. Каждая подсистема взаимодействует с хранилищем базы данных.

5.1.2 Требования к способам обеспечения информационного взаимодействия компонентов ИУС

Информационное взаимодействие между компонентами ИУС осуществляется с помощью протокола передачи данных – TCP/IP, формат данных унифицирован для каждой из подсистем и представляет собой JSON файл. Помимо этого, для связи контроллера и ИУС используется протокол MQTT для передачи показаний с датчиков в систему.

5.1.3 Требования к характеристикам взаимосвязей ИУС с

внешними модулями

ИУС взаимодействует со SCADA системой путем передачи данных из системы мониторинга по протоколу OPC.

5.1.4 Требования к режимам функционирования ИУС

Для ИУС устанавливаются следующие режимы функционирования:

- штатный режим функционирования;
- аварийный режим функционирования;
- сервисный режим функционирования.

Штатный режим является основным режимом функционирования ИУС.

ИУС переходит в аварийный режим при возникновении нештатной ситуации и невозможности штатной работы. В случае перехода ИУС в аварийный режим, обслуживающему персоналу необходимо перевести ИУС в сервисный режим в соответствии с инструкциями.

Функционирование ИУС при отказах и сбоях серверного общесистемного и специального программного обеспечения и оборудования, в том числе структурных узлов ИУС, не предусматривается.

В сервисном режиме Система должна обеспечивать возможность проведения следующих работ:

- техническое обслуживание;
- устранение аварийных ситуаций.

5.1.5 Требования по диагностированию ИУС

ИУС должна удовлетворять следующим требованиям по диагностированию:

- записывать системные ошибки в ходе работы системы в базу данных;
- при критических ошибках выводить сообщения на экран оператора.

5.2 Требования к задачам, выполняемым ИУС

ИУС должна обеспечивать следующие основные возможности:

- мониторинг и отображение хода технологического процесса, а также занесение истории в базу данных;
- автоматизация процессов по выявлению брака;
- централизация и автоматизация процедур управления стадией бракеража;

5.3 Требования к видам обеспечения ИУС

5.3.1 Требования к математическому обеспечению

Математическое обеспечение системы должно обеспечивать реализацию функций системы, и содержать алгоритмы, разработанные на основе описания технологического процесса.

5.3.2 Требования к информационному обеспечению

ИУС должна использовать реляционные базы данных. Разрабатываемая структура базы данных и способы ее организации должны соответствовать следующим требованиям, являющимся общепринятыми для современных информационных систем:

- независимость базы данных от аппаратной платформы, независимость от сетевого протокола;
- обеспечение целостности данных и их связей;
- кластеризация и секционирование данных.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Володина А. М. Проектирование ИУС: Лекции / А. М. Володина — М.: МИРЭА – Российский технологический университет, 2022
2. Линия приготовления и розлива газированной воды и напитков // Промбиофит — URL: <https://www.prombiofit.com/Equipment/akva-gaz.html> (дата обращения: 21.12.2022).
3. Краткое описание нотации BPMN // Хабр — URL: <https://habr.com/ru/company/auriga/blog/667084/> (дата обращения: 21.12.2022).
4. Теория вычислений. Введение в конечные автоматы // Хабр — URL: <https://habr.com/ru/post/358304/> (дата обращения: 21.12.2022).
5. Методология функционального моделирования IDEF0 — URL: <https://advanced-quality-tools.ru/assets/idef0-rus.pdf> (дата обращения: 20.12.2022)
6. Г. Шуман «Безалкогольные напитки. Сырье. Технологические нормативы.» СПб: Профессия, 2004г.
7. Г.А. Ермолаева, Р.А. Колчева «Технология и оборудование производства пива и безалкогольных напитков». М.: ИРПО; Изд. Центр «Академия», 2000г.

ПРИЛОЖЕНИЯ

Приложение А — Диаграмма BPMN

Приложение Б — Скрипт создания базы данных

Приложение В — Блок-схема алгоритма

Приложение А

Диаграмма BPMN

На Рисунке 30 представлена полная диаграмма BPMN.



Рисунок 30 — Полная диаграмма BPMN

Приложение Б

Скрипт создания базы данных

На листинге Б.1 представлен скрипт создания базы данных.

Листинг Б.1 — SQL-скрипт создания базы данных

```
CREATE TABLE current_equipment_parameters
(
    current_equipment_parameters_ID INTEGER NULL,
    parameter VARCHAR(255) NULL,
    parameter_value INTEGER NULL,
    state_ID INTEGER NULL
);
ALTER TABLE current_equipment_parameters
    ADD PRIMARY KEY (current_equipment_parameters_ID);
CREATE TABLE equipment
(
    equipment_ID VARCHAR(255) NULL,
    location VARCHAR(255) NULL,
    current_equipment_parameters_ID INTEGER NULL,
    equipment_type_ID INTEGER NULL
);
ALTER TABLE equipment
    ADD PRIMARY KEY (equipment_ID);
CREATE TABLE operator
(
    operator_ID INTEGER NULL,
    first_name VARCHAR(255) NULL,
    second_name VARCHAR(255) NULL,
    patronymic VARCHAR(255) NULL,
    dob DATE NULL
);
ALTER TABLE operator
    ADD PRIMARY KEY (operator_ID);
CREATE TABLE sensor
```

```
(  
  
    sensor_type_ID INTEGER NULL,  
    sensor_reading_ID INTEGER NULL,  
    sensor_ID INTEGER NULL,  
    name VARCHAR(255) NULL  
);  
ALTER TABLE sensor  
    ADD PRIMARY KEY (sensor_ID);  
CREATE TABLE expertise_type  
(  
  
    expertise_type_ID INTEGER NULL,  
    name VARCHAR(255) NULL  
);  
ALTER TABLE expertise_type  
    ADD PRIMARY KEY (expertise_type_ID);  
CREATE TABLE sensor_type  
(  
  
    sensor_type_ID INTEGER NULL,  
    measure VARCHAR(255) NULL,  
    name_of_type VARCHAR(255) NULL  
);  
ALTER TABLE sensor_type  
    ADD PRIMARY KEY (sensor_type_ID);  
CREATE TABLE bottle  
(  
  
    bottle_ID INTEGER NULL,  
    created_at DATE NULL,  
    bottle_type_ID INTEGER NULL  
);  
ALTER TABLE bottle  
    ADD PRIMARY KEY (bottle_ID);
```

Продолжение Листинга Б.1

```
CREATE TABLE bottle_type
(
    bottle_type_ID INTEGER NULL,
    name_of_type VARCHAR(255) NULL
);
ALTER TABLE bottle_type
    ADD PRIMARY KEY (bottle_type_ID);
CREATE TABLE sensor_value
(
    sensor_reading_ID INTEGER NULL,
    created_at DATE NULL,
    value FLOAT NULL
);
ALTER TABLE sensor_value
    ADD PRIMARY KEY (sensor_reading_ID);
CREATE TABLE equipment_type
(
    equipment_type_ID INTEGER NULL,
    type_name VARCHAR(255) NULL,
    description VARCHAR(255) NULL
);
ALTER TABLE equipment_type
    ADD PRIMARY KEY (equipment_type_ID);
CREATE TABLE expertise
(
    expertise_type_ID INTEGER NULL,
    sensor_ID INTEGER NULL,
    bottle_ID INTEGER NULL,
    operator_ID INTEGER NULL,
    equipment_ID VARCHAR(255) NULL,
    expertise_ID INTEGER NULL,
    created_at DATE NULL,
    result VARCHAR(255) NULL
);
```



```
);  
ALTER TABLE expertise  
    ADD PRIMARY KEY (expertise_ID);  
ALTER TABLE equipment  
    ADD FOREIGN KEY R_18 (current_equipment_parameters_ID) REFERENCES  
current_equipment_parameters(current_equipment_parameters_ID);  
ALTER TABLE equipment  
    ADD FOREIGN KEY R_19 (equipment_type_ID) REFERENCES  
equipment_type(equipment_type_ID);  
ALTER TABLE sensor  
    ADD FOREIGN KEY R_12 (sensor_type_ID) REFERENCES  
sensor_type(sensor_type_ID);  
ALTER TABLE sensor  
    ADD FOREIGN KEY R_13 (sensor_reading_ID) REFERENCES  
sensor_value(sensor_reading_ID);  
ALTER TABLE bottle  
    ADD FOREIGN KEY R_9 (bottle_type_ID) REFERENCES  
bottle_type(bottle_type_ID);  
ALTER TABLE expertise  
    ADD FOREIGN KEY R_20 (expertise_type_ID) REFERENCES  
expertise_type(expertise_type_ID);  
ALTER TABLE expertise  
    ADD FOREIGN KEY R_21 (bottle_ID) REFERENCES bottle(bottle_ID);  
ALTER TABLE expertise  
    ADD FOREIGN KEY R_22 (equipment_ID) REFERENCES  
equipment(equipment_ID);  
ALTER TABLE expertise  
    ADD FOREIGN KEY R_24 (operator_ID) REFERENCES operator(operator_ID);  
ALTER TABLE expertise  
    ADD FOREIGN KEY R_25 (sensor_ID) REFERENCES sensor(sensor_ID);
```

Приложение В

Блок-схема алгоритма

На Рисунке 31 представлена полная блок-схема алгоритма.

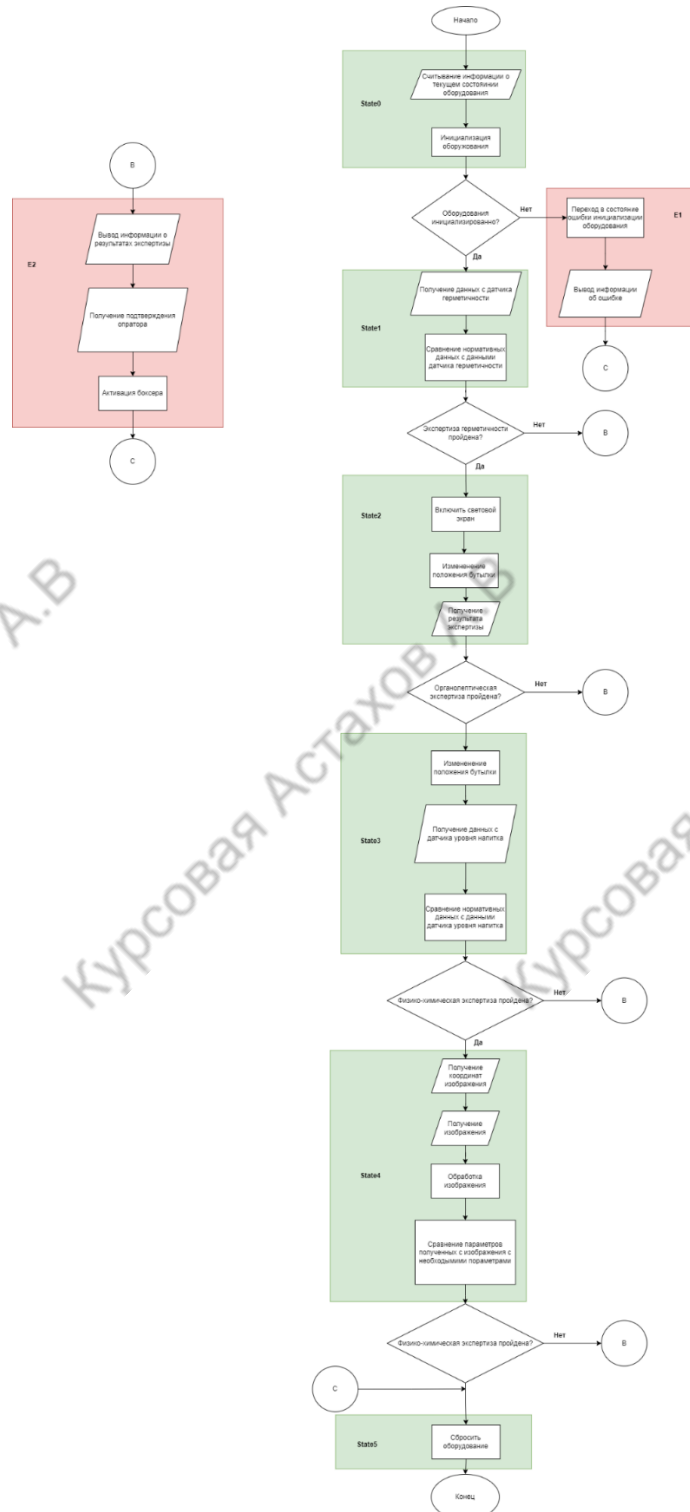


Рисунок 31 — Полная блок-схема алгоритма