

# Модель внедрения IoT-технологий в складских процессах фармацевтической компании. Часть 2: процесс контроля температуры в складских помещениях

The model of IoT-technology in warehouse processes of a pharmaceutical company.  
Part 2: warehouse temperature control process

doi 10.26310/2071-3010.2023.293.3.010



**Н. И. Диденко,**  
д. э. н., профессор,  
Институт промышленного менеджмента,  
экономики и торговли  
✉ didenko.nikolay@mail.ru

**N. I. Didenko,**  
doctor of economic sciences, professor



**А. Л. Рыбас,**  
д. э. н., профессор  
✉ rusintrade@mail.ru

**A. L. Rybas,**  
doctor of economic sciences, professor



**А. Ю. Газизулина,**  
к. т. н., доцент, Институт передовых  
производственных технологий, Высшая  
школа передовых цифровых технологий  
✉ albinagazizulina@gmail.com

**A. Yu. Gazizulina,**  
PhD, associate professor, Institute  
of advanced manufacturing technologies



**К. Э. Скрипнюк,**  
аспирант, Институт компьютерных наук  
и технологий  
✉ konstantin.skripnyuk@mail.ru

**K. E. Skripnyuk,**  
postgraduate

Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого  
Peter the Great St. Petersburg polytechnic university

Статья является продолжением исследования, представленного в первой части публикации: «Модель внедрения IoT-технологий в складских процессах фармацевтической компании. Часть 1: процесс приемки товаров на склад». В исследовании моделируются два процесса: 1) процесс приемки товара на склад — фактическая модель (как есть), целевая модель (как должно быть); 2) процесс мониторинга температурного режима в помещениях — фактическая модель (как есть), целевая модель (как должно быть). В результате моделирования сравниваются результаты двух моделей — фактической и целевой (с применением IoT-технологий).

В первой части статьи моделируются процессы приемки товаров на фармацевтический склад. Во второй части статьи моделируются процессы контроля температуры в складских помещениях.

Рассматриваются IoT-технологии в складских процессах фармацевтической компании.

Материалы и методы. Реализуется архитектурный подход к моделированию, включая разработку основных уровней (слоев) архитектуры моделируемых процессов, язык моделирования ArchiMate, согласованный с TOGAF. Для проверки и дальнейшей оценки внедряемых решений строится имитационная модель тестирования складских процессов с применением IoT-технологий в виде смоделированных событийных процессов в среде AnyLogic.

This article continues the research presented in the first chapter: IoT technologies implementation model in warehouse processes of pharmaceutical company. Chapter 1: warehouse goods acceptance process. Two processes are simulated in the research: 1) warehouse goods acceptance process — actual model (as it is) and target model (as it has to be); 2) temperature control monitoring process in warehouse rooms — actual model (as it is) and target model (as it has to be). During simulation the results of two models are compared: the actual model and the target model (with IoT technologies).

The first chapter of the paper shows pharmaceutical warehouse goods acceptance process modelling. The second part of the paper shows modelling of warehouse rooms temperature control.

The authors consider IoT technologies in warehouse processes of pharmaceutical company.

Materials and methods. An architectural approach to simulation is realized in the research, including the development of the basic levels (layers) of simulated processes architecture, the modelling language is ArchiMate, which is approved by TOGAF. To check and estimate implemented solutions the authors create simulation model of IoT technologies warehouse processes as simulated event processes in AnyLogic.

**Ключевые слова:** IoT-технологии, фармацевтический склад, складские процессы, моделирование складских процессов, моделирование процессов контроля температуры в складских помещениях.

**Keywords:** IoT technologies, pharmaceutical warehouse, warehouse processes, warehouse processes modelling, modelling of warehouse rooms temperature control.

## Введение

Благодаря широкому использованию интеллектуальных устройств и высокоскоростных сетей, Интернет вещей (IoT) получил широкое признание и популярность в складских и логистических операциях. IoT-технологии как новое поколение встроенных инфор-

мационных и коммуникационных технологий (ИКТ), подключенных к Интернету, которые работают вместе для интеграции цепочки поставок и логистической деятельности в цифровую среду позволяют обеспечить оптимизацию различных складских процессов.

IoT-технологии — это набор технологий, которые позволяют идентифицировать предметы, выполнять

повседневные дела с использованием смартфонов, компьютеров, GPS и сетей. IoT-технологии хорошо известны, благодаря повышению эффективности, производительности, безопасности, удобства и времени отклика, а также решению проблемы нехватки рабочей силы в различных логистических и складских операциях при одновременном сокращении затрат и положительном влиянии на окружающую среду. Например, на процедуру комплектования заказов приходится 50-55% общих операционных расходов склада, и во многом определяется эффективность склада. IoT-технологии позволяют сделать процедуру комплектации эффективной за счет улучшения видимости и отслеживаемости на складах в режиме реального времени.

В данной статье предметом исследования выступают IoT-технологии в складских процессах фармацевтической компании.

Объект исследования — дистрибьютор фармацевтической продукции ООО «Грандфарм».

Цель работы: представление этапов модели внедрения IoT-технологий в складские процессы дистрибьютора фармацевтической продукции.

Результаты работы. Предложены этапы модели внедрения IoT-технологий на объекте исследования: датчики, отслеживающие температуру в складских помещениях и подающие сигналы о нарушении температурного режима в систему управления складом; датчики температуры в транспортных средствах, позволяющие отслеживать температуру в ТС и принимать решения при приемке (в случае появления критических отклонений).

## 1. Материалы и методы

Разработка модели внедрения IoT-технологий в складские процессы дистрибьютора фармацевтической продукции базируется на архитектурном подходе к моделированию, включая разработку основных уровней (слоев) архитектуры моделируемых процессов: процесса приемки товаров на склад и процесса мониторинга температуры в помещениях в компании для идентификации особенностей и проблем работы с входящим потоком товаров и поддержанием оптимальной температуры при его хранении.

Архитектура системы — принципиальная организация системы, воплощенная в ее элементах, их взаимоотношениях друг с другом и со средой, а также принципы, направляющие ее проектирование и эволюцию [1].

При разработке архитектуры модели используется инструментарий моделирования Archi. Язык моделирования ArchiMate [2] — это открытый и независимый стандарт архитектуры предприятия, который поддерживает описание, анализ и визуализацию архитектуры внутри и между бизнес-областями. ArchiMate является одним из открытых стандартов, поддерживаемых The Open Group и согласованным с TOGAF.

Представлена архитектура устройств и приложений, как внедряемых (датчики температуры, RFID-метки), так и ранее существующие (WMS-система),

разделенная на четыре слоя: слой устройств; технологический слой; слой приложений; бизнес-слой.

Для проверки и дальнейшей оценки внедряемых решений строится имитационная модель [3] тестирования складских процессов с применением IoT-технологий в виде смоделированных событийных процессов. Модель построена в среде AnyLogic. AnyLogic сочетает в себе профессиональные дискретные события, системную динамику и агентное моделирование на одной платформе для получения эффективных результатов [4].

Для моделирования подобных процессов подходит дискретно-событийный метод моделирования. Он предназначен для представления системы в виде последовательности определенных операций. При использовании данного метода модель создается на среднем уровне абстракции, но при этом метод позволяет точно описать все происходящие операции и процессы и в дальнейшем провести эксперименты.

Методика построения имитационной модели внедрения IoT-технологий в процессы приемки товаров на склад и мониторинга температуры в помещениях состоит из следующих этапов:

- 1) постановка четкой цели и задач моделирования;
- 2) структурирование проблемы;
- 3) определение результирующих показателей;
- 4) построение модели;
- 5) интерпретация результатов;
- 6) выводы по результатам моделирования.

Смоделированы два процесса:

- 1) процесс приемки товара на склад: фактическая модель (как есть), целевая модель (как должно быть);
- 2) процесс мониторинга температурного режима в помещениях: фактическая модель (как есть); целевая модель (как должно быть).

В результате моделирования сравниваются результаты двух моделей — фактической и целевой (с применением IoT-технологий).

## 2. IoT-технологии в управлении складскими процессами

Применение IoT-технологий в складских процессах обычно связывают с термином «умный склад» — комплекс технологий, который позволяет эффективно решать задачи складской логистики [5, 6].

«Умные склады» включают в себя следующие технологии [7, 8]:

1. Автоматические транспортные средства:
  - автоматизированные транспортные средства — автоматический расчет веса паллет/контейнеров на погрузчиках и передача этих данных в систему управления запасами;
  - автоматизированные платформы управления запасами — формирование точной отчетности по остаткам складских запасов в режиме реального времени.
2. Система управления складом:
  - система управления складом (WMS-система) — комплексное программное решение, которое со-

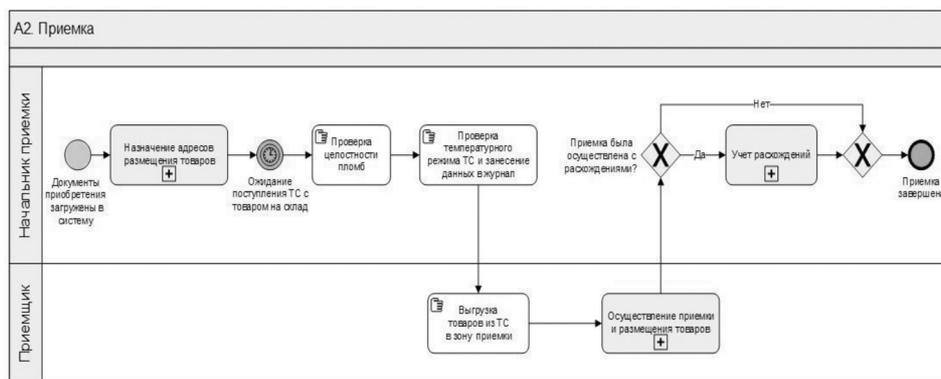


Рис. 1. Процесс приемки товара на склад в компании

бирает, управляет данными о складских процессах, создает отчеты;

- интернет вещей (IoT);
- радиочастотная идентификация (RFID);
- искусственный интеллект (ИИ).

Использование IoT-технологий в управлении складскими процессами может гарантировать эффективное распределение товаров на складе, что, в свою очередь, может сбалансировать различные операции на складе. Промышленное развертывание платформы IoT (так называемый IIoT) представляет собой идеальное решение для реализации предложения по децентрализованному управлению складами и для создания коммуникации между товарами и полками [9].

Основные области применения IoT-технологий для автоматизации складов могут быть различными: стеллажи с грузами, перевозимые роботами; автопогрузчики без водителей; отслеживание перемещения и местонахождения грузов; прозрачность цепочек поставок [10].

IoT-технологии используются в оптимизации пространства на складе. Например, в 2017 г. зарегистрирован патент на систему, способствующую оптимизации пространства на складе с помощью применения IoT [11]. В патенте представлена сетевая реализация связи устройств для обмена данными (на поддонах развернуто множество IoT-устройств для облегчения оптимизации пространства при размещении объектов в каждом поддоне). Система состоит из четырех модулей:

- 1) модуль сбора данных фиксирует данные размеров товаров, размещенных на поддоне из множества поддонов стеллажа;
- 2) модуль вычисления площади поверхности вычисляет пустую площадь поверхности в поддоне

- 3) модуль вычисления поверхностного пространства дополнительно определяет, является ли пустое поверхностное пространство на поддоне больше или меньше заданного порогового значения;
- 4) модуль передачи данных передает во внешнюю систему, связанную с устройством IoT, данные, указывающие, что свободное пространство на поверхности поддона больше или меньше заданного порогового значения, тем самым облегчая пользователю оптимизацию пространства на поддоне при принятии решения о размещении товаров на поддоне.

### 3. Описание объекта и процессов моделирования

Объектом исследования выступает дистрибьютор фармацевтической продукции ООО «Грандфарм». Компания занимается поставками фармацевтических препаратов в восьмидесяти двух регионах России. Головное предприятие (г. Москва) поставляет товар в филиалы (13 филиалов в РФ), филиалы реализуют продукцию оптовым и розничным компаниям (аптечные продажи). Общая площадь складов компании около шестидесяти тысяч квадратных метров. На один филиал приходится несколько ордерных складов с адресным хранением.

В качестве процессов моделирования рассматриваются два процесса: процесс приемки товаров на склад и процесс мониторинга температуры в помещениях в компании для идентификации особенностей и проблем работы с входящим потоком товаров и поддержанием оптимальной температуры при его хранении.

Таблица 1

Описание процесса «Приемка товара на склад»

	Наименование задачи	Описание задачи
1	Назначение адресов размещения товара	Подпроцесс A2.1
2	Проверка целостности пломб	Начальник приемки по приезде транспортных средств проверяет целостность пломб на них
3	Проверка температурного режима ТС (транспортного средства) и занесение данных в журнал	Начальник приемки по приезде транспортных средств проверяет температурный режим транспортного средства с помощью пирометра и заносит данные в рукописный журнал. Если температура в ТС не соответствует требованиям, товар не принимается и формируется претензия в сторону поставщика
4	Выгрузка товаров из ТС в зону приемки	Приемщик выгружает товары из транспортного средства в зону приемки
5	Осуществление приемки и размещение товаров	Подпроцесс A2.5
6	Учет расхождений	Подпроцесс A2.6

Таблица 2

Описание подпроцесса «Назначение адресов размещения товаров»

	Наименование задачи	Описание задачи
1	Необходимо назначить адреса размещения товаров по приходу?	В рабочем месте начальник приемки видит, есть ли необходимость назначить адреса размещения для каких-либо позиций товаров по не оприходованным накладным, и если такая необходимость есть, тогда начальник приемки приступает к назначению новых адресов
2	Поиск адреса ячейки с учетом ограничений (согласно правилам размещения)	Начальник приемки осуществляет выбор ячейки для товара с учетом правил размещения товаров
3	Снятие ограничений и выбор адреса ячейки (согласно правилам размещения)	Если ячейка с учетом ограничений не была подобрана, тогда начальник приемки отключает данные ограничения, и осуществляет выбор из всех доступных ячеек, но также с учетом правил размещения

На верхнем уровне процесс приемки товара на склад изображен на рис. 1. Язык моделирования ArchiMate.

Подробное описание задач процесса описано в табл. 1.

При приемке товар распределяется по секциям в зависимости от характеристик продукции:

1. Предметно-количественный учет — хранение рецептурных препаратов. Движение такой продукции отслеживается Росздравнадзором.
2. Прохладная температура — хранение продукции с ограничением температурного режима 8-15°C.
3. Холодильник — хранение продукции с ограничением температурного режима 2-8°C.
4. Огнеопасные — хранение легко воспламеняющейся продукции.
5. Механическое повреждение/бой — хранение товара, поврежденного при приемке или транспортировке.

При приемке производится подсчет количества упаковок и сравнение фактически принятого товара с количеством, указанным в приходном ордере. Если зафиксированы отклонения, то товар отправляется на склад «Недостача по приходу». Далее ведется расследование с привлечением поставщика и логистической компании для выявления причин недостачи.

На данный момент хранение и мониторинг данных о серии, партии, сроке годности, местоположении товара осуществляется с помощью системы оперативного учета «Домино». При приемке эти данные заносятся в систему, в дальнейшем с ними можно работать. В системе также фиксируются все манипуляции с товаром — перемещения, списания, инвентаризация. Во

время этих операций есть доля вероятности человеческой ошибки, которая приводит к утере товара или его фактическом нахождении не там, где он зафиксирован в системе — при инвентаризации обнаруживается, что товар находится совсем в другой зоне.

В табл. 2 подробно описан порядок назначения адресов размещения товаров.

При размещении товаров действуют общие правила:

1. Товар размещается в зону хранения согласно условиям хранения товара: зона «Прохладка» (8-15°C); зона «Холод» (2-8°C); зона «Огнеопасные» (хранение легко воспламеняющейся продукции — хранятся по принципу однородности в соответствии с их физико-химическими свойствами); в каждой зоне есть подзона ПКУ — товаров предметно-количественного учета (хранение рецептурных препаратов).
2. В одной ячейке необходимо располагать номенклатуру только одной серии.
3. Номенклатура должна располагаться как можно дальше (не менее двух стеллажей) от: аналогичной номенклатуры с другой характеристикой; аналогичной номенклатуры с другой серией; любой номенклатуры, у которой название совпадает не менее, чем по первым 4 буквам.

В табл. 3 описан подпроцесс осуществления приемки и физического размещения товаров в ячейках.

На данном этапе очень важно расположить товар в той ячейке, которую назначила система. Именно этот подпроцесс является узким местом — назначенный адрес может быть занят, и тогда товар размещают по другому адресу (но могут забыть перепечатать эти-

Таблица 3

Описание подпроцесса «Осуществление приемки и размещения товаров»

	Наименование задачи	Описание задачи
1	Приемка товаров	Приемщик сканирует и подготавливает товар, печатает этикетки с указанием места хранения, формирует приходные ордера
2	Размещение товаров на складе	Товары размещаются согласно адресам, назначенным в подпроцессе А2.1 (адрес указан на этикетке). Иногда может случиться такое, что товар невозможно разместить по назначенному адресу (адрес уже занят вопреки значению в системе). Тогда товар размещают по другому свободному адресу, но согласно правилам размещения
3	Отражение бракованного товара в рабочем месте приемки	Если в процессе приемки был обнаружен брак, то приемщик отмечает отсканированные строки бракованного товара соответствующим признаком
4	Перемещение брака на склад механических повреждений	После приемки всего основного товара, и отметки брака, приемщик осуществляет размещение бракованного товара на складе механических повреждений
5	Формирование корректировки назначения по всему принятому маркированному товару (установка назначения «Ожидание ответа МДЛП»)	При завершении приемки, система блокирует весь корректно отсканированный маркированный товар для продажи. Товар недоступен для продажи до момента получения подтверждения от МДЛП (это касается только лекарственных препаратов — проверка подлинности и легальности препарата на законодательном уровне)

Описание подпроцесса «Учет расхождений»

	Наименование задачи	Описание задачи
1	Формирование документа «Перемещение товара» на основании документа «Приобретение товаров и услуг» на склад бой/склад механических повреждений	Если в результате приемки обнаружен брак, тогда начальник приемки формирует документ «Перемещение товара» по всему бракованному товару на основании накладных. Документ «Перемещение товаров» формируется на склад боя или склад механических повреждений, в зависимости от типа брака
2	Формирование документа «Приходный ордер» на склад бой/склад механических повреждений	После того, как сформирован документ перемещения, начальник приемки формирует документ «Приходный ордер» на бракованный товар, которые должен быть перемещен на склад боя или склад механических повреждений
3	Формирование документа «Перемещение товара» на склад недостач	Если в результате приемки обнаружены недостачи, тогда начальник приемки формирует документ «Перемещение товара» по недостачам на основании накладных на склад недостач
4	Формирование документа «Приходный ордер» на склад недостач	После того, как сформирован документ перемещения, начальник приемки формирует документ «Приходный ордер» на все недостачи, которые должны быть перемещены на склад недостач
5	Формирование претензии на портале претензий в адрес головного офиса	Начальник приемки формирует претензию на портале претензий в адрес головного офиса с указанием причины расхождений
6	Формирование документа внутреннего потребления товара	Если претензия будет не удовлетворена, тогда начальник приемки формирует документ «Внутреннее потребление товара» на тот товар, который оказался бракованным или не был доставлен

кетку с адресом), и это влечет за собой цепь неверно размещенных товаров.

Также на этом этапе происходит важная операция — получение подтверждения о легальности движения полученных лекарственных препаратов — прямой или обратный акцепт-подтверждение правильности сведений через ФГИС МДЛП [12].

При хранении фармацевтической продукции важно учитывать срок годности, а при реализации необходимо следить за остаточным сроком годности (ОСГ) товаров, чтобы успеть продать их до его истечения. Мониторинг остаточного срока годности имеет важное значение для отдела продаж и финансового отдела —

для менеджеров по продажам нужна эта информация, чтобы предложить товар с минимальным ОСГ, а для финансового отдела — для корректировки цен отдельных серий товара с минимальным ОСГ.

В табл. 4 подробно описан порядок внутреннего перемещения товаров в зависимости от вида расхождений: механическое повреждение, недостачи, бой.

Подпроцесс «Мониторинг температуры в складских помещениях» описан в табл. 5, схема представлена на рис. 2.

Проверка истории колебания температурного режима в помещении осуществляется контролером каждые три часа в течение рабочей смены. Это не дает

Таблица 5

Описание подпроцесса «Мониторинг температуры в складских помещениях»

	Наименование задачи	Описание задачи
1	Сверка показаний на термоиндикаторах в помещениях	Контролер каждые 3 ч отправляется в складские помещения для сверки температуры на термоиндикаторах (с выносным экраном для удобства). Все значения заносятся в рукописный журнал. Контролер осуществляет обход только в рамках рабочей смены с 09:00 до 21:00
2	Решение проблемы с отклонением температуры в зоне	Если обнаружено отклонение температуры, то выясняет причину и решает проблему: либо настраивает систему кондиционирования для установки приемлемой $t$ ; либо решает проблему с неисправностью индикатора — замена на исправный



Рис. 2. Мониторинг температуры в складских помещениях

Таблица 6

Соответствие процессов приемки и мониторинга температурного режима нормам хранения в анализируемой компании

№	Этап движения товаров на складе	Требования к соблюдению	Оценка соответствия требованиям	Задействованные зоны склада
1	Разгрузка транспорта, доставляющего товар	Условия транспортировки в транспорте (обеспечение холодной цепи)	Сверка показаний температурного режима в транспорте только по факту прибытия на склад	Зона приемки
2	Приемка товара	Учет лицензий Росздравнадзора; мониторинг движения ЛП; мониторинг движения товаров ПКУ	Полностью соответствует	Зона приемки
3	Размещение товара на хранение	Раздельное размещение продукции разных групп; условия хранения в складских помещениях; (обеспечение холодной цепи); мониторинг срока годности	Сверка показаний температурного режима вручную с периодичностью в три часа	Зона приемки; зона основного хранения

возможность фиксировать отклонения оперативно и так же оперативно решать проблему. В свою очередь, это грозит порчей товаров, а также влияет на срок годности — при неправильных условиях хранения срок годности товара становится меньше заявленного производителем.

Представив описание процессов мониторинга температурного режима и процесса приемки, можно составить таблицу соответствия требованиям, описанным ранее. Таким образом, в табл. 6 представлены результаты обследования процессов мониторинга температуры в складских помещениях и приемки товара на склад.

На основании выделенных ранее требований к хранению и транспортировке фармацевтической продукции, а также описанных процессов приемки и складского управления, можно сформулировать проблемы для последующего моделирования:

- Неоперативный мониторинг температурного режима на складах и в прибывшем транспортном средстве может привести к порче или преждевременному уменьшению/истечению срока годности товара.
- Ошибки при работе с данными в системе и с товаром на складе могут привести к долгим поискам товара или его потере, или краже.
- Назначение адреса для размещения товара до его прибытия (по приходной накладной) увеличивает время приемки товара, а также влечет за собой цепь неверно размещенных товаров.

#### 4. Модель процесса контроля температуры в складских помещениях

На рис. 3 показана логика осуществления контроля температурного режима в складских помещениях «как есть».

Контролер каждые 3 часа отправляется в складские помещения для сверки температуры на термоиндикаторах. Все значения заносятся в рукописный журнал. Контролер осуществляет обход только в рамках рабочей смены с 09:00 до 21:00.

Длительность сверки одного индикатора 3-8 мин. Также нужно учесть время, потраченное на переходы между помещениями/индикаторами: от 0,5-5 мин.

На схеме (рис. 3) это отображено следующим образом: в процессе обхода заданы состояние find — снятие показания с датчиков, и состояние remont —

устранение критического отклонения температуры. Под критическим отклонением температуры подразумевается такое отклонение температуры, которое выходит за пределы пороговых значений (для зоны «Прохладка» — 8-15°C; для зоны «Холод» — 2-8°C; для зоны основного хранения — 15-25°C).

Состояние wait задает ожидание контролера — время, когда он не совершает обход (как между обходами, так и в нерабочее время — с 21:00 до 09:00).

На рис. 4 представлены основные параметры и переменные, заданные для функционирования модели:

- temp\_max: верхний порог температурного режима;
- temp\_min: нижний порог температурного режима;
- temp\_mean — средняя температура, рассчитывается по формуле

$$\text{temp\_mean} = \text{temp\_min} + \frac{\text{temp\_max} - \text{temp\_min}}{2},$$

данный параметр хранит значение средней температуры, который считается «оптимальным»;

- temp\_change — таймер, который генерирует изменение температуры в пределах дельты d\_temp;
- temp — это рассчитываемая переменная температуры помещений, которая колеблется;
- d\_temp — параметр, который задает колебания температуры в помещении на шаге моделирования. Правила колебания температуры заданы в модели на основании внутренних данных компании из журнала по измерению температуры в помещениях;

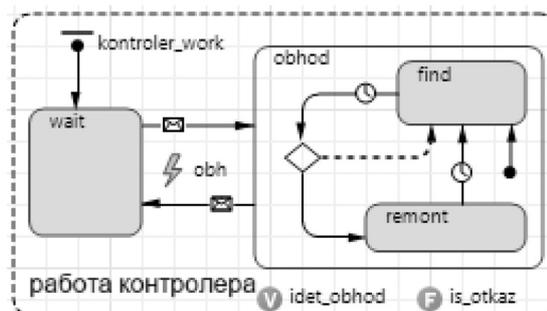


Рис. 3. Фрагмент имитационной модели — схема осуществления контроля температурного режима в помещениях «как есть» (среда AnyLogic)



Рис. 4. Параметры и переменные, задающие изменения температуры и возникновения критических отклонений температуры (среда AnyLogic)

- dat4ik\_count — количество датчиков температуры;
- ver\_otkaz\_dat4ik — вероятность отказа одного датчика температуры в день;
- ver\_otkaz\_kondit — вероятность отказа системы кондиционирования в день;
- otkaz\_generate — таймер, который генерирует отказы и время их наступления в сутках в соответствии с заданной вероятностью. Если происходит отклонение температуры, то таймер проверяет время t\_otk — если оно наступило, то моделируется отклонение. Другими словами, определяется, что откажет — датчик или кондиционер;
- otkaz\_in\_time — событие, этот отказ воспроизведет в нужное время (температура temp изменится) на delta\_temp;
- otk\_dat4ik = true, если произошло отклонение температуры;
- otk\_kondit = true, если произошла неисправность кондиционера;
- t\_rem — переменная, которая записывает время, требуемое на ремонт;

Таблица 7  
Параметры модели мониторинга температурного режима «как есть»

Параметр	Модель «как есть»	Целевая модель
temp_max	25	25
temp_min	15	15
d_temp	0,09	0,09
dat4ik_count	79	272
ver_otkaz_dat4ik	0,067	0,067
ver_otkaz_kondit	0,03	0,03

- t\_otk — переменная, которая записывает время, когда происходит отклонение;
- o\_d = true, если случился отказ датчика;
- o\_k = true, если произошел отказ системы кондиционирования;
- delta\_temp — переменная, показывающая, насколько изменится температура при критических отклонениях.

В табл. 7 приведены параметры, заданные в фактической и целевой моделях. Основная разница в данных между ними заключается больше в поведении, чем в параметрах — в целевой модели изменилось количество датчиков. Теперь их 272 штуки и это температурные датчики, которые могут передавать данные в систему через шлюз.

В модели «как есть» рассчитывались следующие показатели:

- среднее отклонение температуры в помещениях;
- количество отклонений за период;
- фиктивное среднее время устранения критических отклонений температуры в складских помещениях. Это среднее время устранения отклонения, рассчитываемое от момента обнаружения контролером при обходе до момента установления в помещении оптимальной температуры. Называется фиктивным, так как настоящее время критического отклонения неизвестно, то есть критичное отклонение температуры может произойти как между

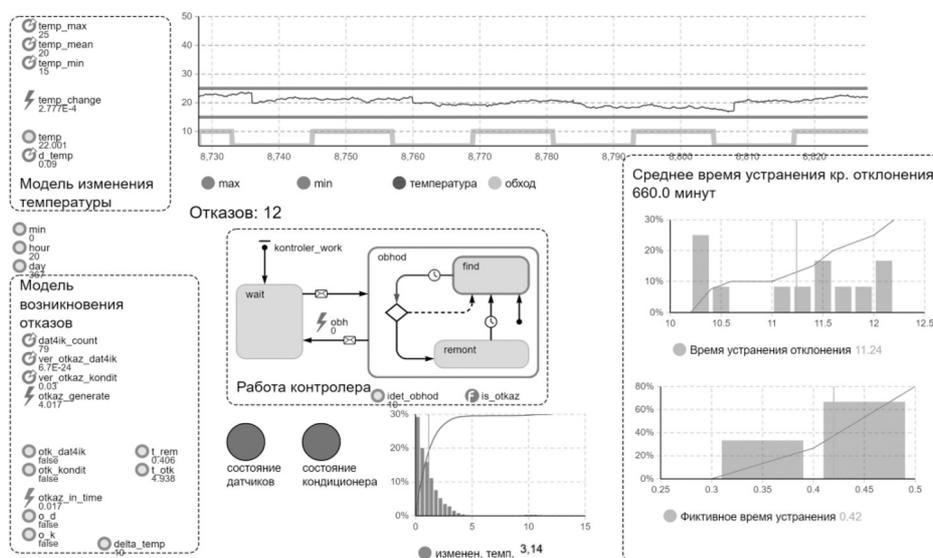


Рис. 5. Результаты моделирования за период 365 дней в модели «как есть» (среда AnyLogic)

обходами, так и в нерабочее время контролера. Для справедливости расчетов было введено фактическое среднее время устранения критических отклонений;

- фактическое среднее время устранения критических отклонений температуры в складских помещениях. Это среднее время устранения отклонений, рассчитываемое от предполагаемого фактического отклонения температуры до момента установления в помещении оптимальной температуры.

На рис. 5 показаны результаты, полученные при запуске модели за период 366 дней.

Результаты, полученные при запуске модели за период 366 дней:

- среднее отклонение температуры в помещениях — 3,14°C;
- количество отклонений за период — 12;
- фиктивное среднее время устранения критических отклонений температуры в складских помещениях — 42 мин.;
- фактическое среднее время устранения критических отклонений температуры в складских помещениях — 11 ч 24 мин. (674,4 мин.).

Так как концепция процесса мониторинга температуры изменяется, то имитационная модель целевого процесса будет отличаться. Датчики температуры, расположенные в каждом складском помещении, измеряют температуру в помещении с интервалом в 5 с. Данные с датчиков передаются в систему WMS в реальном времени. Датчики подают сигнал только при критическом отклонении температуры. Тогда контролер отправляется к месту, где находится датчик, ищет причину проблемы, а затем решает ее.

На рис. 6 показана логика осуществления контроля температурного режима в складских помещениях «как должно быть». На схеме (рис. 6) это отображено следующим образом: состояние «poisk» задает время на поиск причины отклонения, а состояние «remont» — устранение критического отклонения температуры.

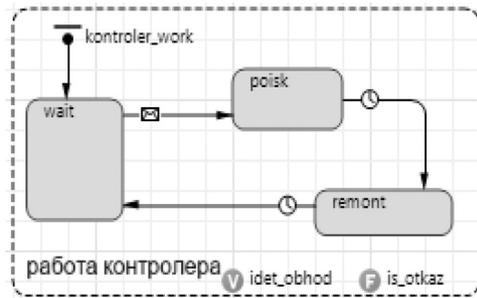


Рис. 6. Фрагмент имитационной модели — схема осуществления контроля температурного режима в помещениях «как должно быть» (среда AnyLogic)

Состояние «wait» задает ожидание контролера в то время, когда никаких отклонений нет.

В целевой модели рассчитывались показатели:

- среднее отклонение температуры в помещениях = среднее отклонение температуры;
- количество отклонений за период;
- среднее время устранения критических отклонений температуры — среднее время устранения критического отклонения температуры. В целевой модели необходимо рассчитывать только фактическое значение времени устранения отклонения, так как точно известен момент его возникновения.

На рис. 7 показаны результаты, полученные при запуске модели за период 366 дней (для чистоты эксперимента периоды при прогоне моделей заданы одинаковые).

Результаты, полученные при запуске модели за период 366 дней:

- среднее отклонение температуры в помещениях — 3,25°C;
- количество отклонений за период — 15;
- фиктивное среднее время устранения критических отклонений температуры в складских помещениях — 41 мин.

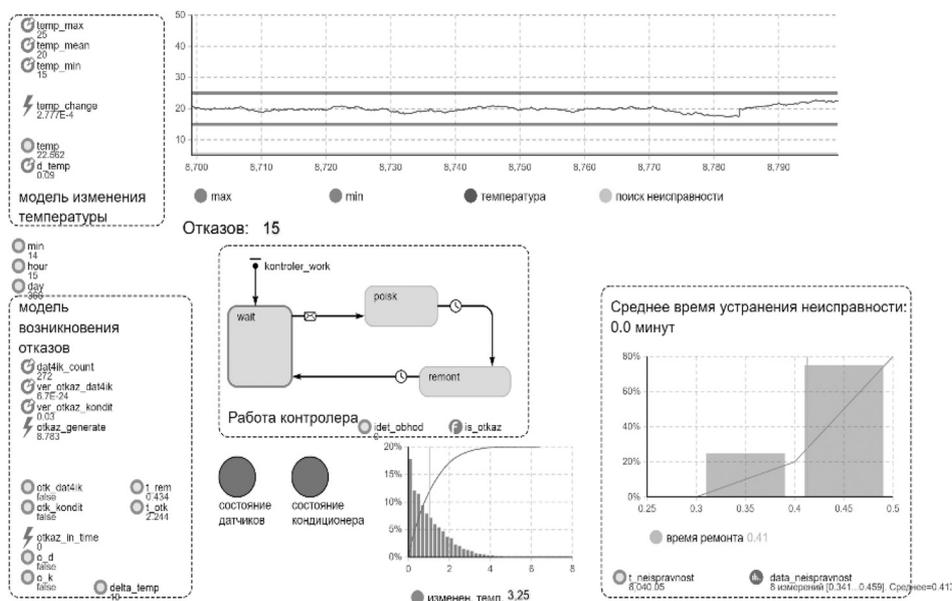


Рис. 7. Результаты моделирования за период 365 дней в модели «как должно быть» (среда AnyLogic)

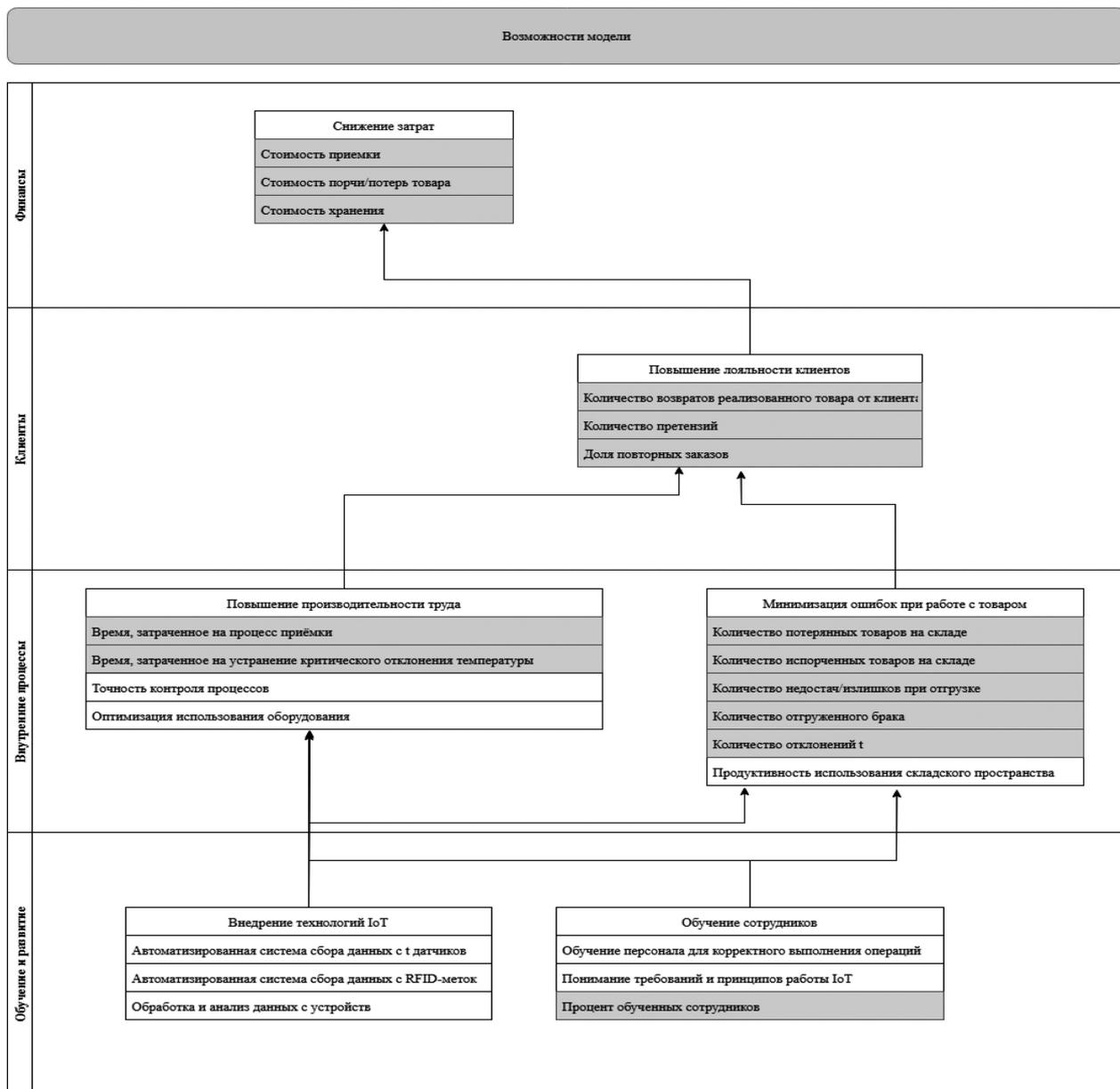


Рис. 8. BSC возможностей предлагаемой модели

В модели «как должно быть» при увеличении количества температурных датчиков ожидаемо увеличивается количество фиксируемых отклонений за анализируемый период, при этом фиктивное среднее время устранения критических отклонений температуры в складских помещениях сокращается на 1 мин.

### Заключение и обсуждение

Из-за отсутствия единых стандартов производителей на рынке IoT-технологий используют собственные стандарты и протоколы, что приводит к несовместимости продуктов друг с другом. Принятие данного международного стандарта поможет справиться с проблемой в перспективе, позволяя заказчикам IoT-технологий использовать продукцию и оборудование различных разработчиков и производителей, а также проводить корректные испытания решений и оборудования на совместимость.

Как инструмент оценки эффективности предложенной модели методика BSC (методика сбалансированных показателей) позволяет ответить на вопрос, какие возможности она предоставляет для бизнеса в разрезе выделенных четырех направлений. На рис. 8 представлена схема возможностей предлагаемой модели.

Для каждого направления определены эффекты: как прямые эффекты, которые определены в процессе эксперимента, так и косвенные эффекты, которые могут проявиться в других складских процессах (размещение, хранение, отгрузка).

Ценность IoT-технологий создается из трех компонентов [13]:

- повышение эффективности промышленного оборудования и долгосрочного технического обслуживания и управления оборудованием (на 10-25%);
  - снижение затрат на оборудование и его техническое обслуживание;
  - развитие новых бизнес-моделей предприятия.
- Именно в рамках внутренних процессов внедрение

IoT-технологий позволяет получить более заметные значимые эффекты — повышение производительности труда и минимизация ошибок при работе с товаром. В рамках эксперимента, проведенного с построенной имитационной моделью, это видно по сокращению времени, затрачиваемого на приемку товаров на склад и устранение критического отклонения температуры.

Минимизация затраченного времени на обнаружение проблемы, поисков ее причин, а также устранения несоответствия температурного режима является одной из самых важных задач на фармацевтических

складах [14]. Продукция, которая относится к фармацевтической, напрямую воздействует на здоровье и жизнь людей, поэтому условия ее хранения должны строго соблюдаться и регламентироваться. Согласно методу «ускоренного старения» [15], который является одним из основных инструментов для испытания стабильности лекарственных препаратов, сроки экспериментального хранения при температурах, отклоняющихся от оптимальных более чем на 10°C, могут сокращаться до 60% при длительных отклонениях температуры в складском помещении.

#### Список использованных источников

1. R. Seiger, L. Lukas Malburg, B. Weber, R. Bergmann. Integrating process management and event processing in smart factories: A systems architecture and use cases//Journal of Manufacturing Systems. Vol. 63. April 2022. P. 575-592. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.05.012>.
2. Archi User Guide. <https://www.archimatetool.com/downloads/Archi%20User%20Guide.pdf>.
3. D. Yu. Katalovsky. System dynamics and agent-based modeling: the need for a combined approach. <https://www.anylogic.ru/resources/articles/sistemnaya-dinamika-i-agentnoe-modelirovanie-neobkhodimost-kombinirovannogo-podkhoda>.
4. Ju. G. Karpov. Imitacionnoe modelirovanie system. Vvedenie v modelirovanie s Anylogic 5 [Simulation modeling of systems. Introduction to modeling with Anylogic 5]. SPb.: BHV-Peterburg, 2005, 400p.
5. Zhong-Zhong Jiang, Mingzhong Wan, Zhi Pei, Xuwei Qin. Spatial and temporal optimization for smart warehouses with fast turnover//Computers & Operations Research. Vol. 125. January 2021, 105091. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105091>.
6. S. A. Vodjanova, S. V. Pupencova, V. V. Pupencova. Mechanisms for the development and implementation of smart home technology//Innovacii [Innovation]. 2018. № 7. P. 83-91.
7. Maarten van Geest, Bedir Tekinerdogan, Gagatay Catal. Design of a reference architecture for developing smart warehouses in industry 4.0//Computers in Industry. Vol. 124. January 2021. 103343. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103343>.
8. Dan Zhang, L. G. Pee, Lili Cui. Artificial intelligence in E-commerce fulfillment: A case study of resource orchestration at Alibaba's Smart Warehouse//International Journal of Information Management. Vol. 57. April 2021, 102304. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102304>.
9. A. A. Il'inceva. The role of «smart» technologies in the management of a modern warehouse//Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: «Ekonomika» [Bulletin of the Ivanovo State University. Series: «Economy»]. 2019. № 3 (41). P. 68-72.
10. Snehasis Sahoo, Cheng-Yao Lo. Smart manufacturing powered by recent technological advancements: A review//Journal of Manufacturing Systems. Vol. 64. July 2022. P. 236-250. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.06.008>.
11. R. M. Madhusudhan, A. Pasha. System and method for facilitating optimization of space in a warehouse: pat. 15051898. USA, 2017.
12. Federal state information system for monitoring the movement of medicines from the manufacturer to the end user using labeling. The abbreviated name of the system is FGIS MDLP.
13. Yu. S. Tymoshchuk, V. V. Maklachkova. Riski primeneniya RFID-tehnologii v medicinskih uchrezhdenijah [Risks of using RFID technology in medical institutions], 2021.
14. Weng Chun Tan, Manjit Singh Sidhu. Review of RFID and IoT integration in supply chain management//Operations Research Perspectives. Vol. 9. 2022. 100229. [doi.org/10.1016/j.orp.2022.100229](https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100229).
15. S. P. Seleznev, V. V. Yakovlev. Architecture of industrial IoT applications and protocols amqp, mqtt, jms, rest, CoAP, xmpp, dds//International journal of open information technologies. 2019. Vol. 7. № 5. P. 17-28.

#### References

1. R. Seiger, L. Lukas Malburg, B. Weber, R. Bergmann. Integrating process management and event processing in smart factories: A systems architecture and use cases//Journal of Manufacturing Systems. Vol. 63. April 2022. P. 575-592. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.05.012>.
2. Archi User Guide. <https://www.archimatetool.com/downloads/Archi%20User%20Guide.pdf>.
3. D. Yu. Katalovsky. System dynamics and agent-based modeling: the need for a combined approach. <https://www.anylogic.ru/resources/articles/sistemnaya-dinamika-i-agentnoe-modelirovanie-neobkhodimost-kombinirovannogo-podkhoda>.
4. Ju. G. Karpov. Imitacionnoe modelirovanie system. Vvedenie v modelirovanie s Anylogic 5 [Simulation modeling of systems. Introduction to modeling with Anylogic 5]. SPb.: BHV-Peterburg, 2005, 400p.
5. Zhong-Zhong Jiang, Mingzhong Wan, Zhi Pei, Xuwei Qin. Spatial and temporal optimization for smart warehouses with fast turnover//Computers & Operations Research. Vol. 125. January 2021, 105091. <https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.105091>.
6. S. A. Vodjanova, S. V. Pupencova, V. V. Pupencova. Mechanisms for the development and implementation of smart home technology//Innovacii [Innovation]. 2018. № 7. P. 83-91.
7. Maarten van Geest, Bedir Tekinerdogan, Gagatay Catal. Design of a reference architecture for developing smart warehouses in industry 4.0//Computers in Industry. Vol. 124. January 2021. 103343. <https://doi.org/10.1016/j.compind.2020.103343>.
8. Dan Zhang, L. G. Pee, Lili Cui. Artificial intelligence in E-commerce fulfillment: A case study of resource orchestration at Alibaba's Smart Warehouse//International Journal of Information Management. Vol. 57. April 2021, 102304. <https://doi.org/10.1016/j.ijinfomgt.2020.102304>.
9. A. A. Il'inceva. The role of «smart» technologies in the management of a modern warehouse//Vestnik Ivanovskogo gosudarstvennogo universiteta. Seriya: «Ekonomika» [Bulletin of the Ivanovo State University. Series: «Economy»]. 2019. № 3 (41). P. 68-72.
10. Snehasis Sahoo, Cheng-Yao Lo. Smart manufacturing powered by recent technological advancements: A review//Journal of Manufacturing Systems. Vol. 64. July 2022. P. 236-250. <https://doi.org/10.1016/j.jmsy.2022.06.008>.
11. R. M. Madhusudhan, A. Pasha. System and method for facilitating optimization of space in a warehouse: pat. 15051898. USA, 2017.
12. Federal state information system for monitoring the movement of medicines from the manufacturer to the end user using labeling. The abbreviated name of the system is FGIS MDLP.
13. Yu. S. Tymoshchuk, V. V. Maklachkova. Riski primeneniya RFID-tehnologii v medicinskih uchrezhdenijah [Risks of using RFID technology in medical institutions], 2021.
14. Weng Chun Tan, Manjit Singh Sidhu. Review of RFID and IoT integration in supply chain management//Operations Research Perspectives. Vol. 9. 2022. 100229. [doi.org/10.1016/j.orp.2022.100229](https://doi.org/10.1016/j.orp.2022.100229).
15. S. P. Seleznev, V. V. Yakovlev. Architecture of industrial IoT applications and protocols amqp, mqtt, jms, rest, CoAP, xmpp, dds//International journal of open information technologies. 2019. Vol. 7. № 5. P. 17-28.