

Алгоритм многокритериальной оптимизации бизнес-процесса операционного управления в компании

А.Б. Кригер,

канд. физ.-мат. наук, доцент, Научно-образовательный центр «Искусственный интеллект» Владивостокского государственного университета (e-mail: aleksandra.kriger@vvsu.ru)

В.С. Пинегина,

магистр по направлению 38.04.01 Экономика, владелец ИТ продукта, Общество с ограниченной ответственностью «ДНС Технологии» (e-mail: valeryvdk1810@gmail.com)

Аннотация. В статье представлен алгоритм решения задачи оптимизации бизнес-процесса операционного управления. Работа выполнена на стыке двух областей: управления бизнес-процессами и многокритериальной оптимизации. Алгоритм сочетает структурные модели, информационные модели, формальные математические модели. В основе оптимизации лежит принцип Парето-эффективности, позволяющий находить компромиссные решения между временными, ресурсными и стоимостными метриками. Разработка выполнена для крупного российского ритейлера электроники и бытовой техники (ООО «ДНС Ритейл») и апробирована на данных процесса управления товарами с выявленными дефектами. Основной проблемой в решении задачи является необходимость осуществить инжиниринг указанного процесса. Ранее единого сквозного процесса в компании не существовало. В разных подразделениях операции, связанные с выполнением процесса выполнялись ситуативно, без автоматизации учета и управления. Базовые метрики процесса оценивались косвенно: в результате опросов сотрудников, из неструктурированных текстовых данных (комментарии исполнителей, описания дефектов). Для обработки указанной информации авторы применили открытую Большую языковую модель (LLM). В результате были сформированы структурированные исходные данные для разработки процесса. Применение искусственного интеллекта носит в данной работе вспомогательный характер. В рамках алгоритма проектируется bpm-модель бизнес-процесса, выполняется имитационное моделирование, вычисляются числовые характеристики целевых метрик процесса. На их основе генерируются датафреймы сценариев выполнения подпроцессов. Результатом является Парето-фронт оптимальных решений. Это позволяет лицу, принимающему решение, выбрать предпочтительный вариант исполнения процесса с учётом текущих приоритетов компании. Выполнение алгоритма не требует существенных вычислительных мощностей, универсален, может быть адаптирован для оптимизации операционных процессов в различных сферах деятельности.

Abstract. In the article, the algorithm for solving the task of business process optimization of operational management is presented. The work is carried out at the intersection of two areas: business process management and multicriteria optimization. The algorithm combines structural models, information models, formal mathematical models. The basis of optimization is the Pareto efficiency principle, which makes it possible to find compromise solutions between time, resource and cost metrics. The development was carried out for a large Russian retailer of electronics and household appliances (OOO «DNS Retail») and tested on data of the goods management process with identified defects. The main problem in solving the task is the need to carry out engineering of the specified process. Previously, there was no single сквоз process in the company. In different departments, operations related to the execution of the process were carried out ad hoc, without automation of accounting and management. Basic process metrics were evaluated indirectly: as a result of employee surveys, from unstructured textual data (comments of executors, defect descriptions). To process the specified information, the authors used an open Large Language Model (LLM). As a result, structured initial data for the development of the process were formed. The application of artificial intelligence in this work has an auxiliary character. Within the algorithm, a bpm-model of the business process is designed, simulation modeling is carried out, numerical characteristics of target metrics of the process are calculated. On their basis, dataframes of scenario execution of subprocesses are generated. The result is a Pareto-front of optimal solutions. This allows the decision maker to choose a preferred option of process execution taking into account the current priorities of the company. The execution of the algorithm does not require significant computational resources, is universal, can be adapted for optimization of operational processes in various spheres of activity.

Ключевые слова: операционное управление, ритейл, бизнес-процесс, нотация BPMN, имитационное моделирование, многокритериальная оптимизация, Парето-оптимальное решение.

Keywords: operations management, retail, business process, BPMN notation, simulation modeling, multi-criteria optimization, Pareto-optimal solution.

Введение

В последние годы ключевым трендом в управлении компаниями и организациями стала цифровая трансформация операционной деятельности. Внедрение технологий автоматизации, методов интеллектуального анализа данных меняет подходы к управлению бизнес-процессами. Это особенно актуально для крупных компаний со сложной организационной структурой, распределенной логистикой и высоконагруженной ИТ-инфраструктурой.

В условиях жесткой конкуренции компании вынуждены одновременно решать две противоречивые задачи: снижать операционные потери и повышать скорость выполнения процессов. Это требует перехода от интуитивных решений к формализованным методам выбора оптимального варианта исполнения бизнес-процессов.

Традиционным решением построения оптимального бизнес-процесса является процедура реинжиниринга (или инжиниринга, если процесс является новым для компании). Сущность процедуры инжиниринга: анализ ситуации (фактически исполняемые процессы, проблемы, информационное обеспечение, требования менеджеров), построение модели, реализация симуляции (имитации) процесса, оценка полученных метрик процесса. Последний шаг процедуры выполняется либо экспертным путем (лучше, чем было – значит «оптимально»), либо на основе бенчмаркинга. В обоих случаях определение «оптимального» варианта бизнес-процесса осуществляется исключительно экспертным путем.

В основе инжиниринга и реинжиниринга бизнес-процессов лежат работы Хаммера, Чампи, Шарпа [1, 2]. Анализ зарубежных и отечественных публикаций последних лет показал, что процедура реинжиниринга не претерпела существенных изменений.

Работы [3, 4] построены на анализе процессов, выборе инструментов оптимизации. В работе [5] описательный кейс оптимизация операционных процессов склада для «ДНС Ритейл», представлен процессный анализ. Инструментами оптимизации являются внедрение цифровых технологий – RFID-технологии, системы компьютерного зрения, интернет вещей и др. Авторы [3] ставят алгоритм оптимизации на основе формализации логики бизнес-процессов (нотация BPMN). Работы [6, 7] рассматривают инструментальные средства (технологии и информационные системы) реинжиниринга бизнес-процессов. Статья [7] является обзорно-аналитической, опирается на анализ успешных практик российских компаний: Страховой Дом ВСК, КАМАЗ и другие. Имеет целью теоретическое обоснование роли реинжиниринга бизнес-процессов как стратегического фактора развития компаний. В работе [8] представлена РМО-модель (Process Mining Organization), которая так же основана на традиционной процедуре реинжиниринга, но применяются технологии ИИ для проектирования целевого процесса ("TO BE").

Новые решения в сфере проектирования и оптимизации бизнес-процессов основаны на применении технологий искусственного интеллекта. В рамках данного направления можно выделить два основных варианта решений:

- 1) применение LLM для построения и анализа моделей бизнес-процессов [9];
- 2) применение алгоритмов глубокого обучения для оптимизации существующих, реализуемых бизнес-процессов [10].

В первом случае ИИ используется для генерации кода BPMN диаграмм [11, 12, 13]. Разработчики инструментальных средств разработки моделей (диаграмм) бизнес-процессов активно внедряют свои продукты интеллектуальных помощников, использующих LLM [19, 20, 21]. Качество полученных моделей зависит от мощности LLM и технического задания (системного промпта), сформированного аналитиком бизнес-процесса [13]. Промпт для формирования модели может быть очень объемными и технически насыщенным. В силу данной особенности, по нашему мнению, существенное увеличение скорости разработки процессов пока не достигнимо.

Во втором случае методы глубокого обучения применяют для решения задач оптимизации процессов [10]. Данные задачи сводятся к поиску экстремальных значений управляемых параметров процессов – метрик. Для принципиальной возможности применения таких алгоритмов необходим большой объем данных (тысячи наблюдений). В указанной работе представлен алгоритм, построенный на универсальных методах и моделях: моделирование процесса в нотации BPMN, имитационное моделирование, Парето-принцип оптимизации. Данные модели используются и в нашей работе. При этом подходы к реализации алгоритмов принципиально отличаются. Представленный в [19] алгоритм решает задачу оптимизации существующего, многократно исполняемого процесса. Исходными данными являются «измеренные» и верифицированные метрики процесса, объем измерений велик. Процесс имеет единственный результат – решение «запроса» клиента кол-центра, поэтому его не декомпозируют на подпроцессы. Оптимизируют итоговые значения времени и стоимости процесса при вариативности распределения однородных ресурсов (прежде всего исполнителей) между операциями. Громадный объем значений метрик, позволяет использовать глубокое обучение для решения задачи многокритериальной оптимизации с помощью генетического алгоритма.

Цель данной работы — разработка алгоритма выбора оптимального (по нескольким критериям) варианта исполнения проектируемого бизнес-процесса. В отличие от традиционных подходов наше решение сочетает структурные методы (диаграммные модели бизнес-процессов), информационные модели (имитаци-

онные модели), математические методы оптимизации.

Исследование выполнено на основе данных компании ООО «ДНС Ритейл» (крупный ритейлер электроники и бытовой техники). Объектом оптимизации являлся процесс управления товарами с выявленными дефектами (некондиционными товарами).

Существенные особенности нашей задачи:

- стандартизованный (рамках компании) сквозной бизнес-процесс создается;
- принципиальным является разделение на подпроцессы (исполняются разными подразделениями компании);
- «измерения» метрик процесса получены для отдельных операций, объем измерений крайне ограничен.

Отметим, что ресурсы в разных подразделениях компании (программное обеспечение, ИТ-инфраструктура, специализация сотрудников) существенно отличаются друг о друга. В силу этих особенностей важной задачей является выбор лучшей комбинации подпроцессов.

Задача исследования формулируется следующим образом: для заданного бизнес-процесса найти множество допустимых вариантов его исполнения, которые являются оптимальными по нескольким противоречивым критериям (минимизация времени выполнения, минимизация затрат).

Новизна представляемого авторами решения состоит в применении метода многокритериальной оптимизации к плохо формализуемой задаче проектирования операционного бизнес-процесса коммерческой компании. Причины плохой формализации задачи:

1. Вариативность исполнения реального рабочего бизнес-процесса (состав операций, последовательность исполнения, условия, участники);
2. Многовариантность назначения и использования ресурсов (даже в рамках одного подразделения компании);
3. Влияние случайных внешних факторов на целевые метрики процесса (время исполнения, ресурсы, затраты). К «случайным» факто-

рам в том числе относятся поведение клиентов и контрагентов.

С учетом сказанного выше очевидно, что число вариантов исполнения очень велико, даже для относительно простого рабочего процесса.

В работе используются термины и определения:

Модель бизнес-процесса — графическое представление (диаграмма) в нотации BPMN 2.0, отражающее участников, последовательность операций и состояния процесса;

Модель оптимизации — совокупность методов и алгоритмов, позволяющих найти наилучший (с точки зрения заданных критериев) вариант реализации бизнес-процесса;

Критерии оптимальности — набор целевых метрик, включающих временные, ресурсные.

Исходные данные, структурирование данных

Решение задачи оптимизации во много зависит от располагаемых исходных данных. Исследование базируется на данных об исполнении бизнес-процесса управления дефектными товарами в сети «ДНС Ритейл». Единого стандартизованного, в рамках компании, сквозного бизнес-процесса до недавнего времени не существовало. Исходные данные для разработки получены в результате опросов сотрудников, из неструктурированных текстовых данных (комментарии исполнителей, описания дефектов). Для их анализа и предварительной обработки применяли методы NLP (Natural Language Processing, Методы обработки естественного языка) [17, 18]. Это позволило преобразовать неструктурированную информацию в формализованные признаки, которые можно использовать в оптимизационной модели. Например, выделить категории дефектов, срочность, определить метрики процесса, получить результаты «измерения» метрик. Последние представляют собой оценки времени исполнения для операций, входящих в задачу обработки товаров с дефектами.

В результате авторами сформированы метадаанные бизнес-процесса (таблица 1), определены метрики подпроцессов и процесса в целом.

Таблица 1

Метадаанные процесса

Подпроцесс	Владельцы	Участники	Ресурсы	Метрики
фиксация факта (товара с дефектами)	структурное подразделение компании	клиенты, сотрудники (склада, магазина)	сотрудники, ППО (1С), ИТ-инфраструктура	Состав сотрудников, длительность, загрузка ИТ-инфраструктуры, затраты
оценки состояния (товара с дефектами)	структурное подразделение компании	Сотрудники	Сотрудники, ИТ-инфраструктура	Состав сотрудников, длительность, загрузка ИТ-инфраструктуры, затраты
принятия решения по варианту «обработки» товара с дефектами	структурное подразделение компании	менеджер	Менеджер, ИТ-инфраструктура	Длительность, загрузка ИТ-инфраструктуры, затраты
исполнения решения по товару с дефектами	структурное подразделение компании	Сотрудники	Сотрудники, ИТ-инфраструктура	Состав сотрудников, длительность, загрузка ИТ-инфраструктуры, затраты

Составлено авторами

Типы метрик процесса:

1. Временные: длительность (подпроцесса), время ожидания ресурса.
2. Ресурсные: состав (количество) задействованных сотрудников, загрузка ИТ-инфраструктуры (техники, приложений).
3. Стоимостные: затраты на исполнение подпроцессов (оплата труда, прямые затраты).

Методы и модели

Построение модели бизнес-процесса

Для формализации процесса была выбрана нотация BPMN 2.0. Этот выбор обусловлен следующими преимуществами:

1. BPMN является де-факто стандартом для моделирования бизнес-процессов, поддерживается большинством корпоративных систем автоматизации [19].
2. Нотация позволяет детально описать сквозные процессы с участием нескольких подразделений, явно выделяя зоны ответственности [13].
3. BPMN-диаграмма служит основой для дальнейшего сбора данных и идентификации точек для оптимизации.

Многокритериальная оптимизация (Парето-принцип)

Классические задачи оптимизации предполагают наличие одной целевой функции. Однако в операционном управлении мы имеем дело с несколькими конфликтующими целями, такими как минимизация издержек, сокращение времени и максимизация удовлетворенности клиента [21].

Решение считается оптимальным, если невозможно улучшить один критерий без ухудшения другого [22], [23]. Основное преимущество этого метода – он не требует ранжирования критериев, что снижает субъективность выбора оптимального решения. На выходе мы получаем множество Парето-эффективных альтернатив, из которых лицо, принимающее решение (далее ЛПР), выбирает наиболее подходящий компромиссный вариант.

Модели обработки естественного языка (NLP)

Для подготовки данных и выявления скрытых закономерностей использовались методы интеллектуального анализа данных, LLM (большая языковая модель) [17]. Их роль – вспомогательная, но критическая: методы применялись для анализа интервью и текстовых документов. В частности, в работе авторы использовали GigaChat (разработка Сбера [24]) и DeepSeek [25].

Результаты

Авторами разработан алгоритм выбора оптимального варианта реализации сквозного операционного бизнес-процесса.

Первым шагом алгоритма многокритериальной оптимизации бизнес-процесса является построение модели рабочего процесса. Если процесс существует, модели строятся и для фактически исполняемого бизнес-процесса («as is») и улучшенного бизнес-процесса («to be»). Если процесс создается – строится базовая, экспертно сформированная модель «to be». Результатом первого шага является спецификация модели, управляемые параметры модели.

Вторым шагом алгоритма многокритериальной оптимизации является симуляция (имитационное моделирование). Целью является проверка принципиальной исполнимости построенного процесса, оценка целевых метрик процесса. Данный шаг выполняется в два этапа:

2.1 Верификация модели для проверки достижимости конечных состояний, ветвлений процесса и отсутствия неразрешимых конфликтов ресурсов.

2.2 Симуляция с фиксацией описательной статистики по выбранным метрикам. Применение инструментальных средств, позволяющих произвести имитационное моделирование с учетом случайных факторов, дает возможность оценить статистику для выбранных метрик процесса.

В качестве инструментального средства авторы использовали Bizagi (версия 4.0.0.096). Могут быть выбраны другие приложения того же класса (например, Comunda), или разработан собственный программный код.

Для симуляции используются «измеренные» параметры исполнения не идеального бизнес-процесса («as is») или аналогичных процессов.

Распределение ресурсов определяет затраты на реализацию бизнес-процесса, время их выполнения. Совершенно очевидно, что если состав «ресурсов» достаточно велик – как по составу сотрудников, так и по используемой инфраструктуре – количество комбинаций становится большим. Поэтому симуляция проводилась для базовых сценариев использования ресурсов (трудовых, оборудования, программного обеспечения). Один из вариантов базового, соответствует сценарию с фактически располагаемым объемом ресурсов. Другие варианты сценария и их число определяется ЛПР, исходя из объективных возможностей компании.

При имитационном моделировании использовалось равномерное распределение времени выполнения для каждой из операций:

$$T \sim U(T_{\min}, T_{\max}),$$

Выбор равномерного распределения обусловлен отсутствием статистически однородных данных достаточного объема для идентификации более сложных законов распределения, что соответствует практике имитационного моделирования. $T_{\min}$ – так же являются результатом

измерения. $T_{\max}$ – предельно допустимое значение, определяемое владельцами процесса.

В результате симуляции формируется описательная статистика выполнения подпроцессов сквозного бизнес-процесса для каждого ресурсного сценария, минимальные, максимальные, средние значения, показатели рассеяния.

На третьем этапе формируются наборы данных (датафреймы) для поиска оптимума методом многокритериальной оптимизации. Для получения оптимального по нескольким критериям решения, данных, по времени исполнения бизнес-процесса, полученных в результате симуляции для базовых сценариев, недостаточно.

Поэтому на данном этапе формирования датафреймов авторы сгенерировали дополнительные реализации времени выполнения операций T в рамках принятого параметрического семейства — равномерного распределения $T \sim U(T_{\min}, T_{\max})$, где $T_{\min}$ и $T_{\max}$ заданы по результатам симуляции предыдущего шага алгоритма.

На четвертом этапе выполняется поиск оптимального варианта исполняемого процесса — многокритериальная оптимизация. Авторами поиск оптимальных решений выполнялся на основе принципа Парето-доминирования. В качестве целевых критериев рассматривались следующие метрики процесса:

- f_1 – общее время исполнения для каждого подпроцесса ($T_{\text{факт}}$, подлежит минимизации);
- f_2 – количество задействованных ресурсов для каждого подпроцесса (подлежит минимизации);
- f_3 – время ожидания ресурсов для каждого подпроцесса (подлежит минимизации)

Конечным результатом выполнения алгоритма является Парето-фронт, который используется лицом, принимающим решения (ЛПР). Оптимальным решением является лучшая, по метрикам, комбинация подпроцессов. *Если ни одно из решений не признано ЛПР удовлетворительным — выполняется возврат к шагу 1 для корректировки модели.*

Разработанный алгоритм поиска оптимального варианта исполняемого бизнес-процесса интегрирует информационные методы и модели, формальные математические модели. Такое решение является эвристическим, его адекватность задаче может быть подтверждена путем тестирования на данных реального процесса.

Алгоритм апробирован на данных крупного российского ритейлера (ООО «ДНС Ритейл») для процесса управления товарами с дефектами. Показано, что алгоритм позволяет получить оптимальные (равновесные) по Парето решения.

Процесс обработки товаров с дефектами был декомпозирован на четыре логически за-

вершенных подпроцесса. Такое разделение обусловлено необходимостью независимого анализа каждого этапа, поскольку они выполняются разными подразделениями, имеют собственные ресурсные ограничения и характеризуются различной вариативностью временных параметров. Построены модели в нотации bpmn.

На итоговые показатели процесса в рамках модели влияют два ключевых параметра: время выполнения операций; количество сотрудников, задействованных в обработке некондиционных товаров.

Изменение указанных параметров оказывает непосредственное влияние на скорость обработки товаров, загрузку подразделений и итоговые финансовые показатели процесса.

Для каждого подпроцесса на основе данных, полученных в ходе интервью с сотрудниками и анализа внутренней отчетности компании, были определены минимальное и максимальное время выполнения операций. Поскольку в компании DNS ресурсы (количество сотрудников, задействованных в обработке товаров с дефектами) являются фиксированными в краткосрочном периоде, было принято решение провести три независимые серии имитационного моделирования с разными наборами ресурсов.

Сценарий А (базовый) соответствовал текущей нормативной численности сотрудников, сценарий Б (ограниченный) моделировал ситуацию дефицита ресурсов с сокращением численности персонала, сценарий В (увеличенный) учитывал возможность привлечения дополнительных ресурсов для ускорения обработки.

Для каждого подпроцесса и каждого ресурсного сценария сгенерированы (может использоваться как библиотека random python, так и открытая (LLM)) множество альтернативных вариантов времени исполнения подпроцессов, времени ожидания ресурса. Исходными данными для генерации являются:

- минимальное и максимальное время выполнения процесса и ожидания ресурса;
- базовое количество ресурсов;
- фактические значения среднего времени, полученные при анализе данных компании.

В результате генерации были получены расширенные наборы данных, включающие по 10 сценариев для каждого подпроцесса. Данного количества сценариев достаточно для определения оптимального ресурсного сценария. Как указывалось выше, использовалось равномерное распределение. В таблицах 2 и 3 представлена структура датафреймов для всех подпроцессов при различных ресурсных сценариях (А, Б, В), отдельные значения временных характеристики подпроцессов. Последние позволяют оценить адекватность полученных оптимальных решений.

Таблица 2

Структура датафрейма, для поиска оптимального вариант подпроцесса

Процесс	Фиксация некондиции			Оценка состояния		
	А	Б	В	А	Б	В
Min_ время	15,0	15,0	1,0	8,0	8,0	2,0
Max_ время	273,0	314,0	108,0	174,0	271,0	8,0
Выполнение_1	156,2	168,2	89,2	92,3	148,3	6,2
.....						
Выполнение_10	72,6	68,3	56,8	54,2	54,2	5,9
Min_ ожидание	0,0	17,0	0,0	0,0	2,0	0,0
Max_ ожидание	675,0	1477,0	135,0	90,0	162,0	3,0
Ожидание_1	337,5	738,5	67,5	45,0	81,0	1,5
.....						
Ожидание_10	202,5	443,1	40,5	27,0	48,6	0,9

Источник: составлено авторами

Таблица 3

Структура датафрейма, для поиска оптимального вариант подпроцесса

Процесс	Принятие решения			Исполнение решения		
	А	Б	В	А	Б	В
Min_ время	15,0	15,0	15,0	60,0	149,0	30,0
Max_ время	411,0	458,0	408,0	435,0	454,0	399,0
Выполнение_1	156,2	197,2	156,2	261,3	317,0	203,5
.....						
Выполнение_10	72,6	135,6	72,6	119,0	179,5	169,8
Min_ ожидание	569,0	110,0	196,0	707,0	942,0	251,0
Max_ ожидание	1776,0	1432,0	1635,0	3128,0	2955,0	2583,0
Ожидание_1	888,0	716,0	817,5	1564,0	1477,5	1291,5
.....						
Ожидание_10	532,8	429,6	490,5	938,4	886,5	774,9

Источник: составлено авторами

Целевыми показателями оптимизации являлись время выполнения (подпроцесса), время ожидания ресурса. Время выполнения подпроцесса определяет прямые затраты на оплату труда («стоимость персонала»). Поэтому учет этих двух взаимозависимых показателей – время исполнения, затраты на персонал – не позволит прийти к оптимальному решению.

Время ожидания ресурса является косвенным индикатором стоимости подпроцесса, т.к. является показателем загрузки подразделений. Чем выше время ожидания, тем более загружен ресурс, и тем выше косвенные затраты на исполнение процесса. Время ожидания ресурса не увеличивает прямых затрат связанных с персоналом, однако оно увеличивает общие затраты на хранение и потери, связанные с нарушением регламентных сроков обработки.

С учетом стохастического характера процесса решением является массив значений: время исполнения для всех рассматриваемых сценариев, время ожидания ресурса для всех рассматриваемых сценариев. Учитывая, что критерий не единственный – решением является Парето-фронт.

Обсуждение

На первом этапе апробации алгоритма в качестве целевых критериев рассматривались время исполнения процесса и время ожидания ресурса для каждого из сценариев исполнения, для каждого ресурсного сценария. На данном этапе авторы оценивали существование оптимальных сценариев выполнения. На рисунках 1

и 2 представлен Парето-фронт, построенный для всех четырех подпроцессов и трех ресурсных сценариев на основе 10 сценариев исполнения каждого процесса.

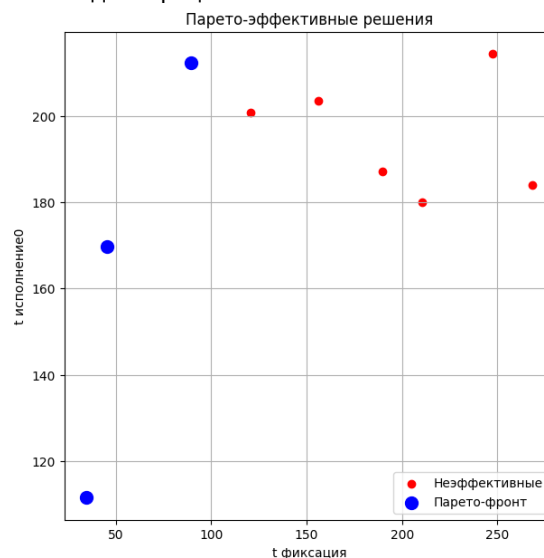


Рис. 1. Парето-фронт по критерию времени исполнения сценария (по ресурсным сценариями)
Составлено авторами

По результатам оценки Парето-эффективны по критерию времени исполнения три сценария из десяти: 2, 4, 8. Сценарии, не вошедшие в Парето-фронт (1, 3, 5, 6, 7, 9, 10), доминируются, поскольку для каждого из них существует хотя бы один сценарий, который обеспечивает лучшие значения.

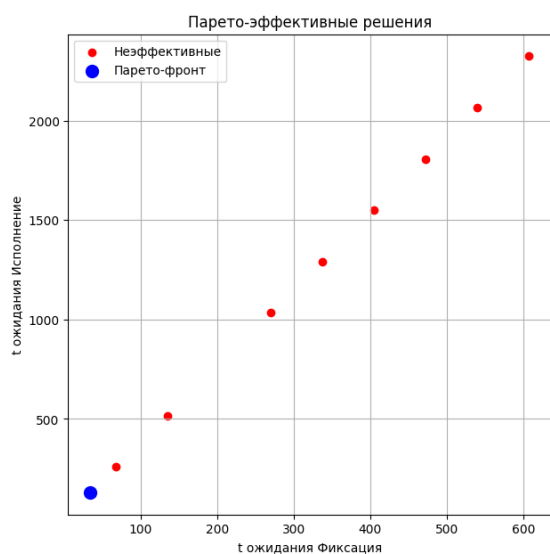


Рис. 2. Парето-фронт по критерию времени ожидания ресурса
Составлено авторами

Парето-эффективным, по критерию времени ожидания ресурса, сценарий 8 является единственным Парето-эффективным решением, поскольку обеспечивает наилучший баланс между всеми значениями времени ожидания для всех вариантов ресурсных сценариев.

Далее, решалась задача определения оптимальной комбинации подпроцессов обработки товаров с дефектами. По каждому подпроцессу был проведен независимый поиск Парето-эффективных решений, что позволило определить, какой ресурсный сценарий является оптимальным. На рисунках с 3 по 6 представлен Парето-фронт для каждого из подпроцессов.

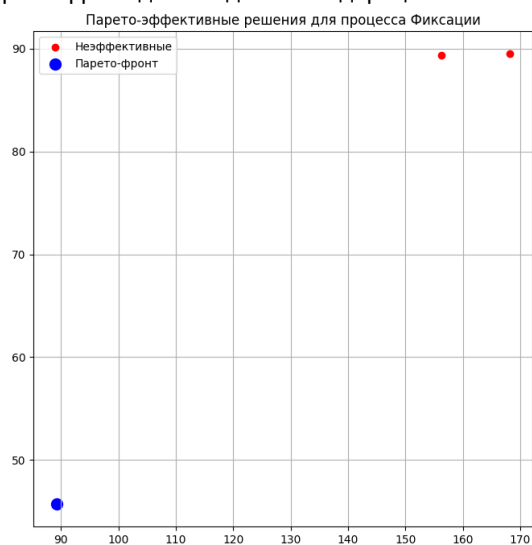


Рис. 3. Парето-фронт для процесса фиксации товаров с дефектами
Составлено авторами

Парето-эффективным признан увеличенный ресурсный сценарий.

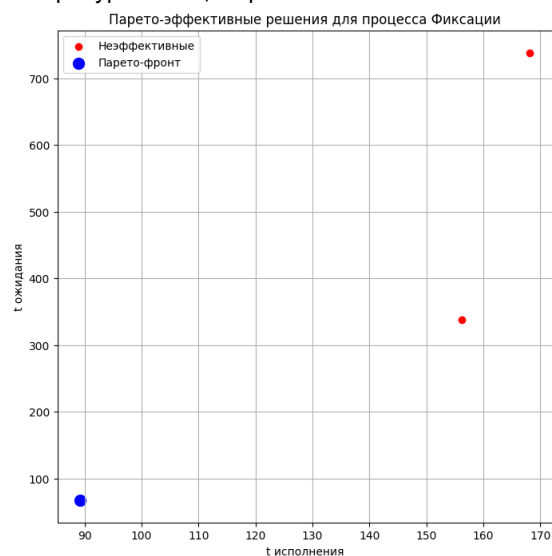


Рис. 4. Парето-фронт для процесса оценки состояния
Составлено авторами

Парето-эффективным является увеличенный ресурсный сценарий (23,5 мин выполнения, 6,8 мин ожидания). Базовый и ограниченный сценарии доминируются.

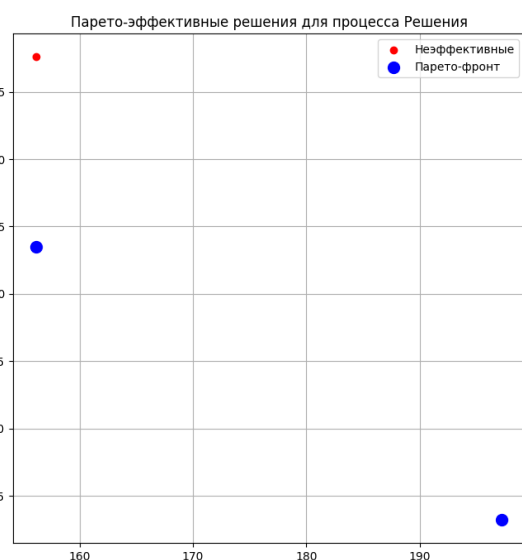


Рис. 5. Парето-фронт для процесса принятия решения
Составлено авторами

Для подпроцесса «Принятие решения» Парето-эффективным являются сокращенный и увеличенный ресурсные сценарии. Для подпроцесса «Исполнения решения» Парето-эффективными оказались все три ресурсных сценария (рисунок 6).

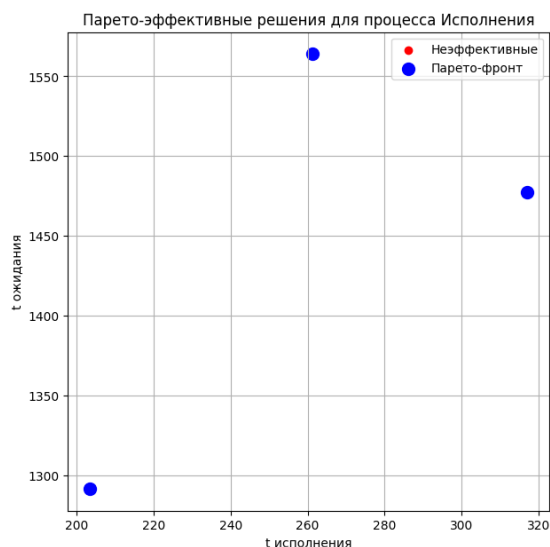


Рис. 6. Парето-фронт для процесса исполнения решения
Составлено авторами

Таким образом, с учетом стохастического характера метрик процесса операционного управления, получены следующие оптимальные варианты реализации процесса:

- для подпроцесса фиксации, оптимален увеличенный ресурсный сценарий;
- для подпроцесса оценки состояния, оптимален увеличенный ресурсный сценарий;
- для подпроцесса принятия решения, оптимальны сокращенный и увеличенный ресурсный сценарий;
- для подпроцесса принятия решения, оптимальными по Парето являются все три ресурсных сценария.

В результате апробирования алгоритма на реальных данных авторами показано, что решение задачи многокритериальной оптимизации существует, может быть получено за ограниченное число шагов. Результат – множество Парето-оптимальных решений позволяет ЛПР выбрать вариант исполняемого процесса исходя из ситуативных соображений – фактически располагаемых ресурсов, текущего приоритета процесса и т.п.

Внедрение оптимизированного процесса позволит компании решить следующие задачи:

- сократить время обработки товаров с дефектами;
- снизить долю списаний товаров с дефектами за счет обоснованного выбора решений;
- повысить прозрачность процесса, его управляемость;
- обеспечить рост выручки за счет более эффективной реализации товаров.

Заключение

В работе представлен алгоритм многокритериальной оптимизации бизнес-процесса, основанный на интеграции BPMN-моделирования, имитационном моделировании, Парето-оптимизации. Для предварительной обработки текстовой неструктурированной информации авторы использовали открытую LLM, что позволило повысить точность и практическую значимость получаемых решений.

Апробация алгоритма на данных компании «ДНС Ритейл» подтвердила его работоспособность. Полученные Парето-эффективные сценарии позволят руководству компании выбирать стратегию в зависимости от текущих приоритетов, гибко управлять компромиссами между временем, стоимостью и ресурсами.

Полученные результаты имеют как теоретическую, так и практическую значимость. Теоретическая значимость состоит в применении формализованного математического метода для решения задачи многокритериальной оптимизации проектируемого бизнес-процесса. Разработанный алгоритм, планируется использовать в деятельности компании ООО «ДНС Ритейл» для совершенствования процесса обработки товаров с дефектами, что определяет его практическую ценность.

Представленный в работе алгоритм достаточно универсален, может быть адаптирован для решения задачи разработки оптимальных операционных управленческих процессов в разных сферах деятельности.

Библиографический список:

1. Hammer M., Stanton S. How process enterprises really work // Harvard Business Review. – November-december 1999. 9 p. – Режим доступа: <https://hbr.org/archive-toc/3996> (дата обращения: 20.06.2026)
2. Sharp, A. Workflow modeling: tools for process improvement and application development / A. Sharp, P. McDermott. – 2nd ed. – Boston : Artech House, 2009. – 449 p.
3. Измоленова К.С., Недорезова Д.О. Оптимизация бизнес-процессов в рамках концепции бережливого управления: синергия инструментов «карта потока ценностей» и BPMN-технологии // Муниципальная академия – 2025. – № 3. – С. 227-241. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=82723597> (дата обращения: 06.06.2026).
4. Мищенко И.Г., Федорищева А.И. Оптимизация бизнес-процессов производственного предприятия на основе инновационных разработок // BENEFCIUM. – 2025. – № 1 (54). – С. 112-121. – Режим доступа: DOI: 10.34680/BENEFCIUM.2025.1(54).112-121(дата обращения: 08.07.2026).

5. Бычков А. С., Сафронова А. А., Кахриманова Д. Г. Оптимизация процессов входного контроля качества и организации приемки товаров на складе ООО «ДНС Ритейл» // Вестник университета. – 2024. – Т. 17, № 12 (153). – С. 25–31. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=80301868> (дата обращения: 06.06.2026)
6. Ким Д. А., Зарипова Р. С., Чупаев А. В. Анализ бизнес-процессов в деятельности нефтегазовой компании и возможности их автоматизации // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. – Т. 10. – № 4. – С. 5 – Режим доступа: https://www.elibrary.ru/download/elibrary_82477646_96096780.pdf (дата обращения: 02.07.2026).
7. Котиков, И. Е. Реинжиниринг бизнес-процессов коммерческой организации как фактор долгосрочного развития организации: фундаментальный анализ и теоретические предпосылки / И. Е. Котиков // Вестник евразийской науки. –2025. –Т. 17. № s2. – Режим доступа: <https://esj.today/PDF/99FAVN225>. (дата обращения: 30.06.2026). 2025.
8. Angelo Rosa, Alessandro Massaro, Giustina Secundo, Giovanni Schiuma, Organization processes and artificial intelligence (AI) for healthcare processes reorganization: a case study // Business Process Management Journal (Emerald). – 2025. – 31. (6). – Pp. 2339–2360. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-05-2024-0316> (дата обращения 13.07. 2026).
9. Peter Fettke, Chiara Di Francescomarino. Business Process Management and Artificial Intelligence Literature Survey and Future Research // KI - Künstliche Intelligenz (2025) 39:67–79 <https://doi.org/10.1007/s13218-025-00891-y>
10. Filatov V. O., Yerokhin M. A. Improved multi-objective optimization in process management using R-NSGA-II // Radio Electronics, Computer Science, Control. – 2023. – № 3. – Pp. 187-195
11. Large Process Models: A Vision for Business Process Management in the Age of Generative AI Published // Künstliche Intelligenz. – 2024. – Volume 39. – 26 July – Pp. 81–95 Режим доступа: <https://link.springer.com/article/10.1007/s13218-024-00863-8/>. (дата обращения: 10.07.2026).
12. Neda Azizi, Peyman Akhavan, Syed Fawad M.Zaidi, AI-Driven Process Innovation: Transforming Service Start-Ups in the Digital Age // Electronics. – 2025. – 14. – 3240. URL – <https://www.mdpi.com/2079-9292/14/16/3240>
13. Sarah Ayad, Fatimah Alsayoud Prompt engineering techniques for semantic enhancement in business process models // Business Process Management Journal (2024) 30 (7): 2611–2641. <https://doi.org/10.1108/BPMJ-02-2024-0108>
14. Котов Д. Платформа процессного управления Stormbpmn /веб- ресурс, платформа/ООО «ШТОРМБПМН». – Режим доступа: <https://stormbpmn.com/> (дата обращения: 08.07.2026).
15. Jack Finnegan, Founder & CEO, BA Copilot. AI BPMN Generator / веб-приложение / Jack Finnegan. – Режим доступа: <https://ba-copilot.com/tools/ai-bpmn-process-map-generator> (дата обращения: 08.07.2026).
16. AI BPMN Diagram Generator. Режим доступа: <https://www.eraser.io/ai/bpmn-diagram-generator> (дата обращения: 26.06.2026).
17. Мусаев А. А., Григорьев Д. А. Обзор современных технологий извлечения знаний из текстовых сообщений // Компьютерные исследования и моделирование. – 2021. – Т. 13, № 6. – С. 1291–1315. – Режим доступа: https://crm.ics.org.ru/uploads/crmissues/crm_2021_06/2021_06_13.pdf (дата обращения: 26.06.2026).
18. Горбунов Р. А., Вицентий А. В. Исследование возможностей больших языковых моделей для извлечения данных из текстов на естественном языке // Труды Кольского научного центра РАН. Серия: Технические науки. 2025. Т. 16, № 3. С. 80–105. doi:10.37614/2949-1215.2025.16.3.006.
19. Antonio Cimino, AnnaChiara Filice, Francesco Longo, Giovanni Mirabelli, Vittorio Solina, et al.. Evolution of BPMN and Simulation Integration: Trends, Challenges, and Future Directions // Procedia Computer Science. – 2025, 253, pp.3235-3246. <10.1016/j.procs.2025.02.048>. (hal-04967903) <https://imt-mines-ales.hal.science/hal-04967903v1/document>
20. Репин В.В. Нотация BPMN: ошибки применения для описания неавтоматизированных процессов «Как есть» / Электронный ресурс /Режим доступа: https://www.businessstudio.ru/articles/article/notatsiya_bpmn_oshibki_primeneniya_dlya_opisaniya/ (дата обращения: 09.07.2026).
21. Лисенкова, В. С. Многокритериальная оптимизация расходов на элементы интеллектуального капитала высокотехнологичных предприятий / В. С. Лисенкова, Н. И. Сидняев, В. В. Соколянский // Вопросы инновационной экономики. – 2020. – Т. 10, № 3. – С. 1275-1286. – doi 10.18334/vinec.10.3.110556. – EDN WUWBTU.
22. Жукова М. С. Проблема выбора оптимальных решений задач многокритериальной оптимизации / науч. рук. М. В. Курганова // Известия Института менеджмента СГЭУ. – 2022. – № 1 (25). – С. 127–130. – Режим доступа: <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=49248036> (дата обращения: 2.06.2026)
23. Голощапова Л. В., Юсупова М. Д., Халидов А. А. Алгоритмы многокритериальной оптимизации для поддержки принятия решений в управлении экономическими системами // Экономика и управление: проблемы, решения. 2025. № 3. Т. 5, С. 4-10; <https://doi.org/10.36871/ek.up.p.r.2025.03.05.001>
24. ГигаЧат, интеллектуальный помощник. – Режим доступа: <https://giga.chat/> (дата обращения: 07.06.2026)
25. DeepSeek AI – Режим доступа: <https://deepseek.com> (дата обращения: 09.07.2026)

Дата поступления рукописи в редакцию
27.07.2026

Дата принятия рукописи в печать
02.08.2026