

УДК 338.984

**СИСТЕМА ИНТЕГРИРОВАННОГО БИЗНЕС-  
ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОМЫШЛЕННОГО ПРЕДПРИЯТИЯ  
С МОДУЛЕМ ОПТИМИЗАЦИИ**

А.В. ЛЕВКОВИЧ<sup>1</sup>, О.А. СТРЕЛЬЧЕНОК<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Технический директор, ООО «Вимейд»

<sup>2</sup> Старший преподаватель кафедры «Инженерная экономика»  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск, Республика Беларусь

*Аннотация. Описана проблема цифровой трансформации промышленных предприятий Республики Беларусь, для решения которой предложена система интегрированного бизнес-планирования на основе open-source программного обеспечения, шаги по ее разработке. Одним из основных модулей представленной системы является решение оптимизационного планирования производства с учетом прогнозируемого и изменяющегося спроса, достижения цели по рентабельности и существующих ограничений (удовлетворение спроса по продуктам, производственные мощности, запасы, временные ограничения и непрерывность производства). Также, в статье приведены предпосылки и шаги по разработке интегрированной системы бизнес-планирования, математической модели оптимизации и обзор ее технической архитектуры.*

*Ключевые слова: Планирование производства, прогнозирование спроса, информационная система, моделирование, задача оптимизации*

**INTEGRATED BUSINESS PLANNING SYSTEM FOR  
AN INDUSTRIAL ENTERPRISE WITH AN  
OPTIMIZATION MODULE**

A.V. LEVKOVICH<sup>1</sup>, O.A. STRELCHENOK<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Technical Director, Wemade LLC

<sup>2</sup> Senior Lecturer of the Department of Engineering Economics  
Belarusian National Technical University

*Annotation. The article describes the problem of digital transformation of industrial enterprises of the Republic of Belarus, for the solution of which authors have been proposed an integrated business planning system based on open-source software, as well as the steps for its development. One of the main modules of the presented system is the solution of optimized production planning taking into account the forecasted and changing demand, achieving the profitability goal and existing constraints (meeting demands, production capacity, inventory, time constraints and continuity of production). Also, the article presents the prerequisites and steps for developing an integrated business planning system, a mathematical optimization model and an overview of its technical architecture.*

*Key words: Production planning, demand forecasting, information system, modeling, optimization problem*

## **Введение**

Для промышленного предприятия бизнес-планирование является комплексной задачей, связывающей такие отличные друг от друга управленческие направления организации, как сбыт, маркетинг, регулирование цен, закупки, управление финансами, основное и вспомогательное производство, другие. Задачи бизнес-планирования по каждому из направлений имеют свойственный им набор методов и ограничений, а при формировании сводных планов должны учитываться все смежные организационно-производственные условия. Разработка сбалансированного бизнес-плана сводится к поиску оптимального варианта плана среди большого числа различных вариантов.

Современные промышленные предприятия опираются на кооперационные связи и стремятся интегрироваться в региональные или глобальные цепочки поставок. Как обобщил Кристофер (Christopher) - «конкурируют не компании, а цепи поставок» [1]. Исходя из этого рамки бизнес-планирования могут не ограничиваться внутрифирменным планированием и, как правило, расширяются на ограничения цепочек поставок и правила их координации.

Рост сложности управленческих систем и неопределенности в современной изменяющейся экономической среде требуют от предприятий существенного развития систем бизнес-планирования и внедрения новых методов и подходов.

### **Проектирование системы интегрированного бизнес-планирования.**

В текущей среде предприятия подвергаются различным внутренним и внешним давлениям, рискам, в рамках которых принимаются управленческие решения. Выжить и успешно развиваться в условиях конкуренции и протекционизма способны лишь те предприятия, которые умеют самостоятельно адаптироваться к изменениям, оперативно реагировать на вызовы, внедрять передовые технологии, улучшать продукты и услуги, а также совершенствовать системы организации и управления [2]. Одним из важнейших механизмов адаптации является процесс по разработке стратегии и тактики предприятия - бизнес-планирование.

Бизнес-планирование сочетает творческий подход с организацией коллективного обсуждения предложений специалистами из разных направлений, а также применение разнообразных технических методов по поиску стратегических и тактических решений. Среди технических методов решения управленческих задач выделим выполнение расчетов с использованием имитационных и оптимизационных моделей.

Известны различные направления планирования на производственных предприятиях: объемно-календарное, техническое, ресурсное, программное. Исходя из комплексности и сложности задачи бизнес-планирования целесообразно использование интегрированного подхода с объединением различных направлений, методов планирования и построения нескольких взаимосвязанных моделей интегрированного планирования.

Разработка и внедрение системы бизнес-планирования с использованием имитационных и оптимизационных моделей требует решения ряда проблем, связанных с информационными разрывами (и, как следствие, несогласованностью на разных этапах), внутренними конфликтами интересов, изменениями обязанностей отдельных работников или подразделений, принятием предприятием результатов оптимизационных расчетов. Процесс подготовки и

обследования направлен не только на сбор и обобщение информации о текущих процессах (т.е. формирование модели процессов “как есть”), но и на анализ управленческих решений, условий и факторов, лежащих в их основе.

Исходя из системного подхода к анализу и описанию системы бизнес-планирования разрабатывают следующие модели [3], [4]:

- концептуальная модель - определение общих подходов к моделированию системы, включая применяемые термины и определения, инструменты и методы для описания информационных систем, математических моделей, технологических и производственных условий, процессов, организационных структур, целей и задач;

- модель потоков данных - собранные и систематизированные отчеты, справки и документы планирования, последовательности их составления, рассмотрения, согласования и утверждения;

- модель бизнес-процессов планирования - формализованное (в нотации BPMN) описание шагов функционального и организационного взаимодействия исполнителей процесса планирования, их ролей и действий в информационной системе;

- модели планирования - сводная информационная модель планируемых и анализируемых показателей в разрезе атрибутов, версий и уровней планирования. Модель планирования связывает техническую реализацию обработки и хранения данных, последовательность и правила планирования, экономическую логику планируемых показателей.

- модель интеграции - определяет взаимосвязи между различными моделями и формирует правила перехода от текущей модели планирования к новой, например от модели отдельных excel форм планирования к единой информационной системе;

- математическая модель - формальное описание задачи оптимизации, включающее целевую функцию, ограничения и другие параметры, необходимые для поиска наилучшего решения;

- модель симуляции - структурированный набор правил для воспроизведения (перерасчета) в системе планирования заданного сценария или варианта решения математической модели.

На рисунке 1 приведены функциональные модули информационной системы управления и планирования производственным предприятием.

### Информационная система управления производственным предприятием

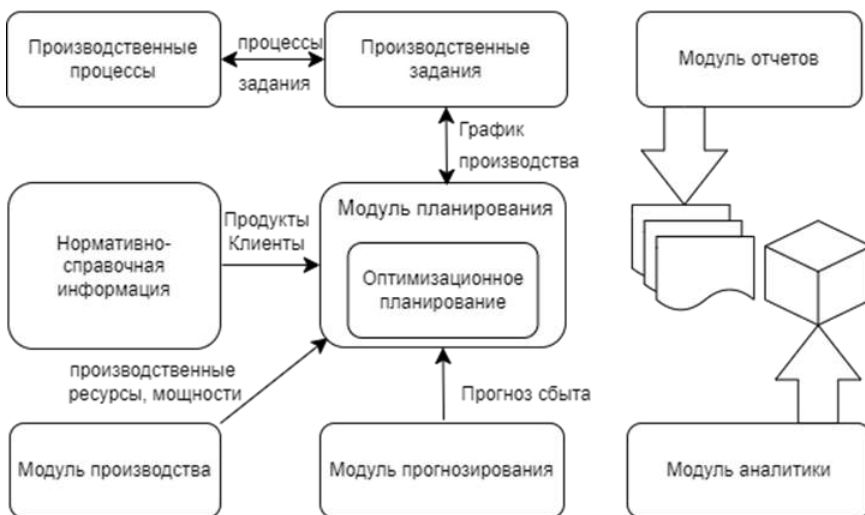


Рисунок 1 – Функциональная схема системы интегрированного бизнес-планирования предприятия

Результатами обследования и проектирования являются разработанные модели интегрированного планирования с единой базой показателей, характеристик, методов расчетов и согласований, правилами построения отчетов, справок и иных документов планирования.

#### Математическая модель оптимизационного планирования

Задача определения размера партии (количества производимой продукции) с учетом производственной мощности направлена на минимизацию производственных издержек (стоимости) для нескольких видов продукции в течение конечного горизонта

планирования [5]. Производственные издержки (затраты), зависящие от времени, включают в себя:

- Стоимость хранения продукции;
- Стоимость запуска (включения) машины (ресурса) производства;
- Стоимость производства продукции.

Горизонт планирования делится на периоды времени  $T =$  год, месяц, день (сутки). Предполагается, что для каждого периода спрос известен и должен быть удовлетворен без задержек. Стоимость хранения запасов рассчитывается на основе запасов на конец данного периода. Стоимость запуска машины и время запуска машины возникают по причине переключения производства от маломощной машины-ресурса на более мощный производственный ресурс и обратно, в зависимости от изменяющегося спроса и величины остатков. Ввиду неэффективности таких переключений (затраты электроэнергии, потери времени при отсутствии выхода полезной продукции) одной из дополнительных целей планирования является минимизация самих переключений производственных ресурсов (непрерывное производство на основном оборудовании).

Постановка задачи заключается в определении математической модели планирования производства, а именно целевой функции, ограничений и переменных (рисунок 2).

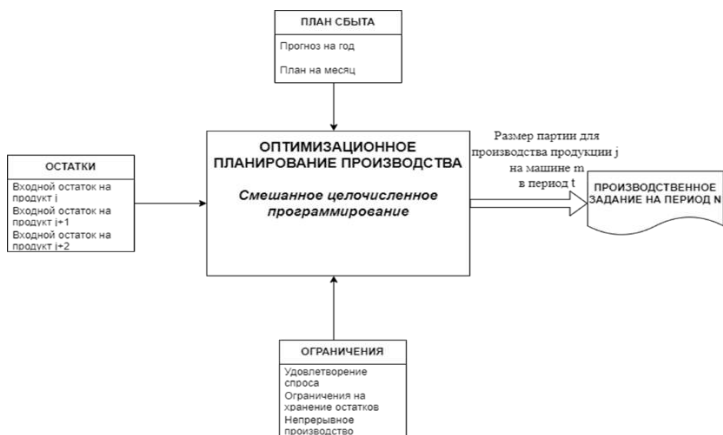


Рисунок 2 – Модель оптимизационного планирования производства

Входные параметры планирования производства:

– Режимы работы производственных ресурсов (машин) и их производительность (мощность)  $a_{mj}$

–  $P_{jt}$  – спрос на продукцию  $j$  в период  $t$

–  $P_{fjt}$  - прогноз

–  $P_{pjt}$  – план

**ШАГ1:** рассчитывается  $P_{fjt}$  для периода  $t$ =год по месяцам с использованием методов прогнозирования: плавающее и взвешенное среднее, экспоненциальное сглаживание.

**ШАГ2:** ежемесячно, не позднее даты ДД.ММ.ГГГГ предоставляется коммерческим отделом план сбыта  $P_{pjt}$  для каждого вида продукции на следующий месяц  $MM+1$ .

–  $st_{mjt}$  – время запуска (наладки) производства продукции  $j$  на машине  $m$  в период  $t$

–  $h_{jt}$  - стоимость хранения продукции  $j$  в период  $t$ , включая потери

–  $sp_{mjt}$  - себестоимость производства продукции  $j$  на машине  $m$  в период  $t$

–  $sc_{mjt}$  - стоимость запуска (наладки) производства продукции  $j$  на машине  $m$  в период  $t$

–  $Imin_{jt}$  – минимальное количество продукции  $j$  хранимой на складе в период  $t$

–  $Imax_{jt}$  – максимальное количество продукции  $j$  хранимой на складе в период  $t$

–  $E_{jt}$  – собственное потребление продукции  $j$  в период  $t$

–  $L_{jt}$  – потери продукции  $j$  в период  $t$ , потери происходят во время хранения и наполнения

–  $Import_{jt}$  – импорт продукции  $j$  в период  $t$

Переменные:

–  $X_{mjt}$  - размер партии для производства продукции  $j$  на машине  $m$  в период  $t$

–  $Y_{mjt}$  - двоичная (бинарная) переменная, указывающая на то, производится или нет партия продукции  $j$  на машине  $m$  в период  $t$

–  $I_{jt}$  – остаток (запас) продукции  $j$  на конец периода  $t$

Целевая функция: минимизация полной стоимости производства (с учетом стоимости запуска производственного оборудования), себестоимости производства и хранения продукции в каждый период времени с учетом производственных и операционных ограничений.

Целевая функция (формула 1):

$$\min \sum_{t=1}^T \sum_{j=1}^J (h_{jt} + \sum_{m=1}^M (sp_{mjt} * X_{mjt} + sc_{mjt} * Y_{mjt})) \quad (1)$$

С учетом ограничений:

– Удовлетворение спроса (плана сбыта) в каждый период планирования (год, месяц) с одновременным расчетом остатков продукции  $j$  при хранении.

Кол-во произведенной продукции  $j$  в период  $t$  на машине  $m$  = Потребность (сбыт) продукции  $j$  период  $t$  – Остаток продукции  $j$  в период  $t-1$  + Остаток продукции  $j$  в период  $t$  + Потребление продукции  $j$  в период  $t$  + Потери продукции  $j$  в период  $t$  – Импорт продукции  $j$  в период  $t$  (формула 2):

$$\sum_{m=1}^M X_{mjt} = P_{jt} - I_{j,t-1} + I_{jt} + E_{jt} + L_{jt} - Import_{jt} \quad (2)$$

– Соблюдение ограничений на хранение остатков каждого вида продукции  $j$  (ограничение максимального объема хранения) с одновременным соблюдением минимальных страховых запасов продукции (формула 3).

$$Imin_{jt} \leq I_{jt} \leq Imax_{jt} \quad (3)$$

– Непрерывное производство определенных видов продукции (газообразная продукция, транспортирующаяся по трубопроводу, другая продукция, остановка либо задержка производства и поставки которой негативно сказывается на операционной деятельности партнеров и потребителей).

– Минимизация количества включений-выключений производственных ресурсов (машин) с целью непрерывной работы для уменьшения стоимости и потерь при включении-выключении. Возможность работы производственных мощностей только в определенных режимах с известной производительностью.

Данная задача решается методом смешанного целочисленного математического программирования (Mixed-Integer Linear Programming = MIP).

### **Техническая архитектура**

При разработке технической архитектуры системы интегрированного бизнес-планирования разработчики руководствовались положениями ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 20547-1-2021 “Эталонная архитектура больших данных” [6]. Этот стандарт основан на международных рекомендациях ISO/IEC TR 20547-1:2018 и включает лучшие практики и рекомендации по организации инфраструктуры и процессов для работы с большими данными.

Техническая архитектура системы интегрированного бизнес-планирования представляет собой многослойную структуру, оптимизированную для обработки первичных документов, временных рядов данных и анализа больших объемов информации. В системе три слоя: слой хранения и обработки данных, слой сервисов, слой отображения и управления данными.

В основе слоя хранения и обработки данных лежит распределенная колоночно-ориентированная высокопроизводительная база данных GreptimeDB, что позволяет обеспечить надежность, масштабируемость и высокую скорость обработки данных. В качестве формата хранения данных используется Apache Parquet [7] - бинарный, колоночно-ориентированный формат хранения больших данных, изначально разработанный для экосистемы больших данных Hadoop. Данное решение позволило применить наиболее передовые и популярные технологии больших данных для уровня предприятия без существенного расширения требований к аппаратному обеспечению.

Слой сервисов предназначен для реализации функций планирования и имитационного моделирования и включает 3 сервиса, разработанных на языках программирования Python и Rust: сервис оптимизационного планирования, сервис прогнозирования временных рядов, сервис планирования и плановых расчетов, включая реализацию алгоритмов планирования в потребности материалов и ресурсов (MRP), календарного планирования.

Слой отображения данных представляет собой набор инструментов для просмотра, анализа и взаимодействия с данными. Для создания и отображения сводных данных в виде интерактивных

информационных панелей, витрин данных и отчетов применяется Apache Superset [8]. Витрины данных преимущественно используются для оперативных и тематических совещаний. Портал управления данными и планированием предназначен для настройки конфигурации системы интегрированного бизнес-планирования, управления потоками данных, формирования и отображения отчетов планирования, ввода данных в формы планирования.

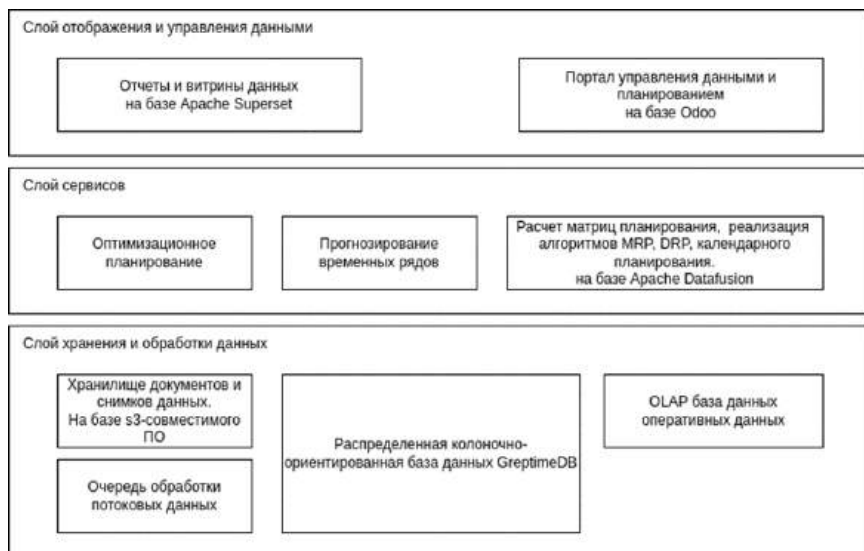


Рисунок 4 – Техническая архитектура системы бизнес-планирования

## Выводы

Сегодня наиболее актуальной задачей развития является повышение эффективности работы промышленного сектора экономики Республики Беларусь (РБ), как одного из конкурентных преимуществ и точки развития страны в новой системе разделения труда. Такая задача может быть достигнута в том числе с помощью автоматизации бизнес-процессов на производстве, внедрения современных информационных систем управления, а также

использования новых решений управления рисками в системе кооперации промышленных предприятий.

Сложность момента заключается в необходимости проведения модернизации системы управления предприятиями в условиях импортозамещения. С учетом вышеуказанного для решения поставленных задач предлагается использовать решения интегрированного бизнес-планирования, разрабатываемые на базе систем с открытым кодом, таких как Odoo, Apache Superset, Apache Datafusion, GreptimeDB.

Задача оптимизации производства заключается в описании и решении математической модели планирования, а именно, - нахождения решений целевой функции минимизации стоимости производства для необходимого количества производимой продукции на определенной машине (ресурсе) и режиме производства (мощности) с учетом существующих ограничений. Данный класс задач решается с помощью метода смешанного целочисленного программирования.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Christopher M., Peck H. Building the Resilient Supply Chain. The International Journal of Logistics Management, 2004, no. 15 (2), pp. 1-14.
2. Ouabouch L., Amri M. Analysing Supply Chain Risk Factors: A Probability-Impact Matrix Applied to Pharmaceutical Industry. Journal of Logistics Management, 2013, no. 2 (2), pp. 35-40.
3. Ivanov D. Structural dynamics and resilience in supply chain risk management, 2018, New York: Springer.
4. Chan HK, Kumar V. Special issue-applications of reference models for supply-chain integration, 2014, Prod Plann Contr 25, pp.1059–1064.
5. Dolgui, Alexandre , Ereemeev, Anton V. , Kovalyov, Mikhail Y. and Kuznetsov, Pavel M. Multiproduct lot sizing and scheduling on unrelated parallel machines, 2010, ИЕ Transactions, 42: 7, 514 – 524.
6. Информационные технологии. Эталонная архитектура больших данных. Часть 1: Структура и процесс применения. ГОСТ Р ИСО/МЭК ТО 20547-1-2021. - М.: Стандартинформ. – 2021.- Электронный ресурс. – [Режим доступа]: <https://api.bigdata->

msu.ru/media/uploads/2020/12/30/gost-r-iso-mek-20547-1-standart-it-eabd-struktura-i-processprimeneniya.pdf.

7. Apache Parquet. Адрес доступа: <https://parquet.apache.org/documentation/latest> (дата обращения 20.10.2024).

8. Apache Superset. Адрес доступа: <https://superset.apache.org/docs/intro> (дата обращения 20.10.2024).

## REFERENCES

1. Christopher M., Peck H. Building the Resilient Supply Chain. The International Journal of Logistics Management, 2004, no. 15 (2), pp. 1-14.

2. Ouabouch L., Amri M. Analysing Supply Chain Risk Factors: A Probability-Impact Matrix Applied to Pharmaceutical Industry. Journal of Logistics Management, 2013, no. 2 (2), pp. 35-40.

3. Ivanov D. Structural dynamics and resilience in supply chain risk management, 2018, New York: Springer.

4. Chan HK, Kumar V. Special issue-applications of reference models for supply-chain integration, 2014, Prod Plann Contr 25, pp.1059–1064.

5. Dolgui, Alexandre , Ereemeev, Anton V. , Kovalyov, Mikhail Y. and Kuznetsov, Pavel M. Multiproduct lot sizing and scheduling on unrelated parallel machines, 2010, IIE Transactions, 42: 7, 514 – 524.

6. Информационные технологии. Эталонная архитектура больших данных. Часть 1: Структура и процесс применения. GOST R ISO/MEK TO 20547-1-2021. - М.: Стандартинформ. – 2021.- Электронный ресурс. – [Режим доступа]: <https://api.bigdata-msu.ru/media/uploads/2020/12/30/gost-r-iso-mek-20547-1-standart-it-eabd-struktura-i-processprimeneniya.pdf>.

7. Apache Parquet. Адрес доступа: <https://parquet.apache.org/documentation/latest> (дата обращения 20.10.2024).

8. Apache Superset. Адрес доступа: <https://superset.apache.org/docs/intro> (дата обращения 20.10.2024).