

---

МИНИСТЕРСТВО НАУКИ И ВЫСШЕГО ОБРАЗОВАНИЯ РОССИЙСКОЙ ФЕДЕРАЦИИ  
федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования  
«Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

*На правах рукописи*

---

*Подпись аспиранта*

Биченкова Оксана Федоровна

---

*ФИО аспиранта*

МЕТОДЫ И СРЕДСТВА ПОВЫШЕНИЯ КАЧЕСТВА  
ОПЕРАТИВНОГО УПРАВЛЕНИЯ ПРОИЗВОДСТВОМ

---

*наименование темы научно-квалификационной работы (заглавными буквами)*

Технические. 2.5.22 Управление качеством продукции.

Стандартизация. Организация производства

---

*отрасль науки (шифр и наименование научной специальности)*

27.06.01\_01 Стандартизация и управление качеством продукции

(27.06.01 Управление в технических системах)

---

*наименование направленности (шифр и наименование направления)*

Академическая степень **Исследователь. Преподаватель-исследователь**

**НАУЧНЫЙ ДОКЛАД**

Научный руководитель: д.т.н., ст. науч. сотр., проф. Черненькая Людмила Васильевна

*ученая степень, ученое звание, должность, ФИО полностью*

Санкт-Петербург, 2022

Научный доклад выполнен в высшей школе киберфизических систем управления Института компьютерных наук и технологий федерального государственного автономного образовательного учреждения высшего образования «Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого»

Научный руководитель: д.т.н., ст. науч. сотр., проф. Черненькая Людмила Васильевна

*ученая степень, ученое звание, должность, ФИО полностью*

Рецензент: д.т.н., проф., проф. БГТУ «ВОЕНМЕХ» им. Д.Ф. Устинова Смирнова Мария Сергеевна

*ученая степень, ученое звание, должность, ФИО полностью*

С научным докладом можно ознакомиться в библиотеке ФГАОУ ВО «Санкт– Петербургский политехнический университет Петра Великого» и на сайте Электронной библиотеки СПбПУ по адресу: <http://elib.spbstu.ru>.

## I. ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность работы.** Оперативное управление производством с быстрым и корректным откликом на изменение состояния производства является важной и актуальной задачей в текущей экономической ситуации в стране и в мире. Система управления должна, с одной стороны, быстро отрабатывать изменения как на самом производстве, так и поступающие извне, например, изменение входящих данных от Заказчика или срыв сроков Поставщиком. С другой стороны, иметь запас прочности и устойчивости к изменениям, когда минимальное изменение начальных данных не приводит к перепланированию всего производства на весь горизонт планирования. В сфере точного приборо- и машиностроения система оперативного управления производством оперирует достаточно большим и разнородным массивом данных, для быстрой и корректной обработки которых в современных условиях используются программно-аппаратные комплексы. На время проведения исследования такого комплекса отечественной разработки не существовало.

**Цель и задачи исследования.** Целью исследования является расширение существующих моделей планирования и перепланирования производства с учетом данных обратной связи с производства (как о состоянии оборудования, так и о своевременности начала выполнения операции). Помимо этого, для каждого уровня планирования формируется свой алгоритм с учетом набора параметров и ограничений, характерных для данного уровня и для данной сферы деятельности.

Для реализации цели были поставлены следующие задачи:

1. Выполнить анализ существующих моделей и средств, используемых для оперативного управления производством.
2. Определить или разработать алгоритмы для каждого уровня планирования.
3. Для каждого алгоритма и уровня планирования определить набор необходимых и достаточных параметров и ограничений.
4. Определить минимальный набор данных, необходимый и

достаточный для корректного планирования на каждом из уровней.

5. Апробировать разработанную систему на предприятии точного приборо- и машиностроения.

**Научная новизна.** Научная новизна состоит в том, что на основе анализа моделей и средств, используемых для оперативного управления производством в рамках дискретного производства в сфере точно приборо- и машиностроения, разработана эффективная система оперативного управления производством с быстрым и корректным откликом на изменение состояния производства, в том числе:

- разработаны методы и средства повышения качества оперативного управления производством, на основе выделения основных параметров планирования;
- разработана схема трёхуровневого планирования производства со специфическим набором параметров и критериев оптимизации для каждого из уровней;
- определен набор минимальных и достаточных параметров и критериев оптимизации для каждого из уровней;
- определен минимальный обязательный набор данных, необходимый для корректного расчета плана.

**Теоретическая и практическая значимость.** Выполненная работа обладает высокой теоретической значимостью, поскольку содержит новые алгоритмы планирования и критерии оптимизации построения расписания производства, а также высокой практической значимостью, так как ее результаты были использованы как при разработке программно-аппаратного комплекса «1С-Каскад», так и при разработке «1С:MES Оперативное управление производством».

**Внедрение результатов диссертационного исследования.** Результаты исследования, основные положения, выводы и рекомендации, сформулированные в научной работе, использованы при разработке программно-аппаратного комплекса «1С-Каскад». Данный комплекс используется для автоматизации

процессов управления в ОАО «ЛЕНПОЛИГРАФМАШ», а также является базой для разработки программных продуктов на платформе 1С, в частности «1С:MES Оперативное управление производством».

**Апробация работы.** Основные результаты исследования докладывались и обсуждались на следующих конференциях и форумах:

- Международная научно-практическая конференция «Системный анализ в проектирование и управлении»(XX, XXI, XXIII, XXIV), 29 июня – 1 июля 2016 года, 29-30 июня 2017 года, 10-11 июня 2019 года, 13-14 октября 2020 года, Санкт-Петербург, Россия.

- ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА (COMCON-2016), 4-9 апреля 2016 года, Санкт-Петербург, Россия.

- Седьмая Международная научная конференция «Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство», 31 августа 2019 года, Казань, Россия.

**Публикации.** По тематике выполненного исследования опубликованы следующие работы в рецензируемых изданиях:

1. **Биченкова О.Ф.** Распределение плановых норм времени при планировании производства. /О.Ф. Биченкова, Е.М. Сафронова, Л.В. Черненькая// Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 1-1 (103). – С. 129-134. – DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.019 – EDN ZEMDEC (ВАК).
2. **Биченкова О.Ф.** Использование переналадки оборудования в качестве критерия оптимизации при планировании производства. Минимизация длительности, стоимости и количества переналадок. /О.Ф. Биченкова, Л.В. Черненькая// Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. (в печати) (ВАК).
3. **Биченкова О.Ф.** Модели предварительного планирования в программном комплексе «1С-Каскад»/ О.Ф. Биченкова, Л.В. Черненькая // Системный анализ в проектирование и управлении: Сборник научных трудов XX Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 29 июня – 1 июля 2016 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский

политехнический университет Петра Великого, 2016. – С. 380-384. -EDN WIBATJ (РИНЦ).

4. **Биченкова О.Ф.** Развитие алгоритмов планирования обеспеченности производства на основе программного комплекса «1С-Каскад»/ О.Ф. Биченкова // ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА (COMCON-2016): Сборник докладов студенческой научной конференции Института компьютерных наук и технологий. Санкт-Петербург, 4-9 апреля 2016 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016 – С.3-6. - EDN WIBBEX (РИНЦ).
5. **Биченкова О.Ф.** APS-уровень: контроль качества при планировании этапов производства»/ О.Ф. Биченкова, Л.В. Черненькая // Системный анализ в проектирование и управлении: Сборник научных трудов XXI Международной научно-практической конференции в 2-х томах, Санкт-Петербург, 29-30 июня 2017 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. – С. 368-374. -EDN ZGGKGL (РИНЦ).
6. **Биченкова О.Ф.** Построение оптимального расписания с учетом условия предшествования. / О.Ф. Биченкова, Л.В. Судакова, Л.В. Черненькая // Системный анализ в проектирование и управлении: Сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10-11 июня 2019 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2019. – С. 315-320. -EDN KREHRV (РИНЦ).
7. **Биченкова О.Ф.** Оперативное управление дискретным производством при помощи полиномиального алгоритма. / О.Ф. Биченкова, Л.Г. Потапова, Л.В. Черненькая // Системный анализ в проектирование и управлении: Сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10-11 июня 2019 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2019. – С. 119-124. -EDN OZPRNJ (РИНЦ).

- 8. Биченкова О.Ф. ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКИ КАК ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ. / О.Ф. Биченкова, Е.М. Сафронова// Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: Сборник научных статей по итогам седьмой международной научной конференции, Казань, 31 августа 2019 года. – С. 121-123. - EDN OOLGCI (РИНЦ).**
- 9. Биченкова О.Ф. ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКИ ЗА СЧЕТ ОПЕРАТИВНОЙ АКТУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ О РАБОТЕ ОБОРУДОВАНИЯ. / О.Ф. Биченкова, Е.М. Сафронова// Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: Сборник научных статей по итогам седьмой международной научной конференции, Казань, 31 августа 2019 года. – С. 121-125. - EDN IKRLJN (РИНЦ).**
- 10. Биченкова О.Ф. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ СЛУЖБЫ ГЛАВНОГО ТЕХНОЛОГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОЦЕНОК. / О.Ф. Биченкова, Л.В. Судакова, Л.В. Черненькая // Системный анализ в проектирование и управлении: Сборник научных трудов XXIV Международной научно-практической конференции в 3 частях, Санкт-Петербург, 13-14 октября 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. – С. 182-190. -EDN HUYRJU (РИНЦ).**
- 11. Биченкова О.Ф. РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО. / О.Ф. Биченкова, Л.Г. Потапова, Л.В. Черненькая // Системный анализ в проектирование и управлении: Сборник научных трудов XXIV Международной научно-практической конференции в 3 частях, Санкт-Петербург, 13-14 октября 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. – С. 171-182. -EDN ZSAAUS (РИНЦ).**

**Представление научного доклада. Основные положения:**

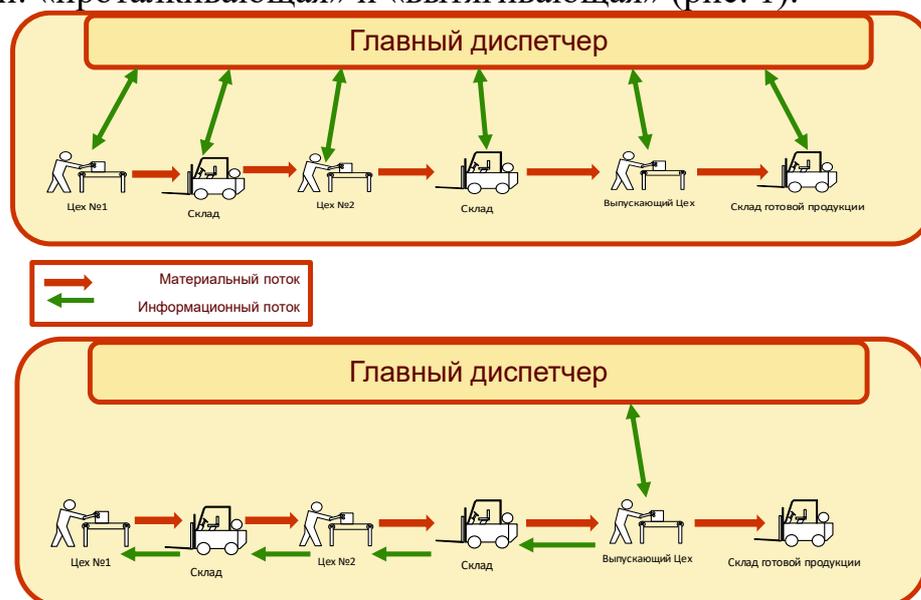
1. Основные характеристики дискретного производства, влияющие на оперативное управление производством.
2. Набор параметров и критериев оптимизации для каждого из уровней в рамках трёхуровневого планирования производства. Минимальный обязательный набор данных, необходимый для корректного расчета плана.
3. Описание программно-аппаратного комплекса «1С-Каскад» разработанного для оперативного управления производством и апробированного на ОАО «ЛЕНПОЛИГРАФМАШ».

## II. СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

**Во введении** выполнено обоснование актуальности выбранной темы диссертационного исследования, охарактеризована степень ее разработанности, определены цели и задачи, обоснован выбор объекта исследования. Сформулированы положения, выносимые на защиту.

**В первой главе** даны общие сведения о дискретном производстве, а также общие характеристики точного приборо- и машиностроения. В частности, описаны выталкивающая и вытягивающая схемы организации производства.

Для многопередельного производственного процесса существует две схемы координации: «проталкивающая» и «вытягивающая» (рис. 1):



**Рис. 1. Проталкивающая и вытягивающая схемы**

В «проталкивающей» схеме заранее формируется график производства, который представляет собой график передачи результатов работ между

подразделениями. Источником потребности в выпуске для каждого подразделения является график производства по предприятию в целом. Главный диспетчер как бы «проталкивает» изготовление компонент по всем этапам производства от подразделения к подразделению согласно установленным срокам. Каждое подразделение при этом уверено, что, выполняя свои работы согласно глобальному графику, оно своевременно обеспечивает смежные подразделения. В общем случае подразделения не поддерживают связь друг с другом напрямую. К проталкивающему типу относятся такие методологии планирования, как APS и MES.

В «вытягивающей» схеме потребность в выпуске определяется в режиме «on-line» непосредственно подразделениями на рабочих местах. Диспетчер подразделения сам определяет, какие компоненты-материалы и в какие сроки ему необходимы, и делает запрос в подразделения-поставщики. Процесс выпуска как бы «вытягивает» в подразделения-потребители необходимые компоненты и материалы из подразделений-поставщиков, которые, в свою очередь, становятся подразделениями-потребителями для предшествующих этапов и так до исходных материалов. Источником потребности являются сигналы, передаваемые между подразделениями. Диспетчер подразделения постоянно держит связь с коллегами-смежниками.

С точки зрения загрузки и параметров, используемых при планировании, необходимо четко разделить серийное, позаказное и опытное производство.

Серийное производство характеризуется:

- ограниченным перечнем выпускаемой номенклатуры;
- устоявшейся и четко прописанной конструкторско-технологической документацией (КТД);
- полностью отработанными технологиями выпуска с указанием норм расхода материалов и комплектующих и трудозатратами;

- возможно формирование заделов, т.е. выпуск полуфабрикатов и готовой продукции на склад;
- возможно применение вытягивающей схемы;
- длительность производства в пределах года;
- все изменения в КТД проходят строго по регламенту и связаны с появлением новой продукции или новой модификации старой.

Позаказное производство характеризуется:

- большим, чем в серийном производстве, перечне номенклатуры;
- четко прописанными технологиями и составом изделия;
- возможность формирования заделов меньше, чем при серийном производстве, только для какой-либо универсальной номенклатуры, используемой в большом количестве видов изделий;
- вытягивающая схема возможна только для производства с постоянным списком выпускаемой номенклатуры без большого количества модификаций;
- изменения в КТД могут проходить под каждый заказ покупателя.

Опытное производство характеризуется:

- состав выпускаемой номенклатуры не постоянен;
- изделие может пройти весь цикл от разработки КТД до выпуска и больше никогда не выпускаться;
- КТД может разрабатываться в параллель с выпуском самого изделия;
- вытягивающая схема невозможна, так как выходные параметры изделия могут меняться в процессе выпуска и нужен постоянный контроль;
- возможность формирования заделов почти нет, только для какой-либо универсальной номенклатуры, используемой в большом количестве видов изделий;

- КТД разрабатывается под каждый заказ и может меняться в процессе производства.

**Вторая глава** посвящена основным задачам управления и планирования производством.

- Первоначальное планирование графика производства с учетом первичных ограничений.
- Оптимизация графика с учетом заданных критериев.
- Перепланирование графика с учетом изменения входящих данных и обратной связи с производством.

Первоначальное планирование и оптимизация реализуется через трехуровневое планирование производства, где для каждого уровня задан свой набор критериев и параметров.

**Первоначальное планирование производства** – это построение исходного графика производства с учетом параметров, задаваемых при планировании.

В зависимости от уровня планирования меняется горизонт планирования, точность и набор параметров, учитываемых при построении графика.

Уровни планирования и их результаты:

- ***Стратегический уровень планирования или бизнес аналитика.***

Результатом данного уровня является оценка возможного плана производства в объемах выпуска с учетом имеющегося парка оборудования и технологических карт.

- ***Тактический уровень планирования или думы о заказе.***

Данный уровень опирается на данные стратегического уровня, но может быть и самостоятельным, например, при отсутствии глобального плана производства.

Результатом данного уровня является ответ на вопрос можем ли мы выполнить данный заказ в заданные сроки и сколько это будет стоить. Данный уровень используют как производственники при построении межцеховых графиков, так и отдел продаж при оценке выполнимости заказа в заданные сроки.

- ***Оперативный уровень или пооперационное планирование.***

Данный уровень базируется на данных тактического планирования. Самостоятельным быть не может, но может не использоваться вообще в случае отсутствия необходимости детализации данных до конкретного РЦ и рабочего. Результатом планирования данного уровня является сетевой график выполнения операций с указанием последовательности работ, сроками выполнения, местом выполнения (подразделение и РЦ) и исполнителя.

### **Оптимизация графика производства.**

Выбор из всех возможных решений наилучший оптимальный вариант. С математической точки зрения оптимальность – это достижение экстремума критерия оптимальности (целевой функцией). Оптимизационные модели используются для нахождения лучшего варианта использования производственных ресурсов, что позволяет достичь максимального целевого эффекта.

На стратегическом уровне, например, решается задача **выбора оптимальной программы производства.**

Дано:  $n$  различных видов продукции.

Для выпуска предприятие использует  $M$  видов материально-сырьевых ресурсов и  $N$  видов оборудования.

Необходимо: определить объемы производства предприятия (т.е. его производственную программу) на заданном интервале планирования  $[0, T]$ , чтобы максимизировать валовую прибыль предприятия.

Пусть валовая прибыль равна выручке, полученной от реализации продукции за вычетом затрат. Иными словами, необходимо максимизировать целевую функцию вида:

$$\sum_{i=1}^n a_i x_i - \sum_{i=1}^n b_i x_i - Zp \rightarrow \max (1)$$

где  $a_i$  — цена реализации продукции вида  $i$ ;

$b_i$  — переменные затраты на выпуск одной единицы продукции вида  $i$ ;

$Z_p$  — условно постоянные затраты, которые будем предполагать независимыми от вектора  $x = (x_1, \dots, x_n)$ .

При этом должны быть выполнены ограничения на объемы используемых материально-сырьевых ресурсов и время использования оборудования на интервале  $[0, T]$ .

Обозначим через  $L_j (j = 1, \dots, M)$  объем запасов материально-сырьевых ресурсов вида  $j$ , а через  $\tau_k (k = 1, \dots, N)$  — время, в течение которого может быть использовано оборудование вида  $k$ . Известно потребление материально-сырьевых ресурсов вида  $j$  на выпуск одной единицы продукции вида  $i$ , которое обозначим через  $l_{ij} (i = 1, \dots, n; j = 1, \dots, M)$ . Известно также  $t_{ik}$  — время загрузки одной единицы оборудования вида  $k$  изготовления одной единицы продукции вида  $i (i = 1, \dots, n; k = 1, \dots, N)$ . Через  $m_k$  обозначим количество единиц оборудования вида  $k (k=1, \dots, N)$ .

При введенных обозначениях ограничения на объем потребляемых материально-сырьевых ресурсов могут быть заданы таким образом:

$$\sum_{i=1}^n x_i b_{ij} \leq L_j \quad (j=1, \dots, M) \quad (2)$$

Ограничения на производственные мощности задаются следующими неравенствами

$$\sum_{i=1}^n x_i t_{ik} \leq m_k \tau_k \quad k=1, \dots, N \quad (3)$$

Кроме того, переменные

$$x_i \geq 0 \quad i=1, \dots, n \quad (4)$$

Таким образом, задача выбора производственной программы, максимизирующей прибыль, заключается в выборе такого плана выпуск  $x = (x_1, \dots, x_n)$ , который удовлетворял бы ограничениям (2)-(4) и максимизировал бы функцию (1).

На уровнях межцехового и внутрицехового планирования используются «жадные алгоритмы» при планировании, так как задача составления расписания относится к классу NP-полных задач и в общем случае прямым перебором в

адекватное время не решается.

### Построение оптимального расписания с учетом предшествования.

Рассмотрим задачу построения расписания для одной машины. Пусть  $N = \{1, \dots, n\}$  – конечное множество операций. Их выполнение происходит на одной машине, причем время, требуемое на выполнение  $i$ -ой операции –  $p_i$ . Для каждой операции задана монотонно неубывающая функция  $f_i$ . Между операциями существуют отношения в виде ориентированного графа без циклов: если существует ребро  $i \rightarrow j$ , то операция  $i$  должна завершиться до начала выполнения операции  $j$ .

Для представления задач построения оптимальных расписаний используется обозначение  $\alpha|\beta|\gamma$ , состоящее из трех полей.

Поле  $\alpha$  используется для описания обслуживающей системы. В рассматриваемой задаче  $\alpha = 1$  – система состоит из одной машины.

Поле  $\beta$  служит для описания характеристик операций. Одно из возможных значений данного поля  $\beta = prec$  говорит о заданном ограничении предшествования на множестве операций.

Поле  $\gamma$  описывает целевую функцию задачи. Задача заключается в построении расписания, которое минимизирует целевую функцию. Рассмотрим следующую целевую функцию:

$$f_{max} = \max_{j=1..n} f_j(C_j), \quad (5)$$

где  $C_j$  – время завершения выполнения  $j$ -ой операции.

В качестве функции  $f_j(C_j)$  примем функцию:

$$f_j(C_j) = \omega_j C_j, \quad (6)$$

где  $\omega_j$  – вес  $j$ -ой операции. Данный параметр характеризует «важность» операции.

В результате получили задачу  $1|prec|f_{max}$ .

Решение задается перестановкой:

$$\pi = (\pi_1, \dots, \pi_n). \quad (7)$$

Величина  $\pi_i$  задает номер операции, стоящий на  $i$ -ом месте в перестановке  $\pi$ .

### Жадные алгоритмы

Для решения данной задачи используем жадные алгоритмы. Жадными

(градиентными) алгоритмами называют алгоритмы, действующие по принципу «максимальный выигрыш на каждом шаге», т.е. на каждом шаге составления расписания решается локальная оптимизационная задача. Заметим, что такие алгоритмы не всегда ведут к успеху – иногда выгоднее сделать не наилучший выбор на очередном шаге, чтобы в итоге получить оптимальное решение.

При планировании производства используются методы динамического программирования, в частности принцип оптимальности и уравнение Беллмана.

### **Принцип оптимальности и уравнение Беллмана**

Метод динамического программирования состоит в том, что оптимальное управление строится постепенно, шаг за шагом. На каждом шаге оптимизируется управление только этого шага. Вместе с тем на каждом шаге управление выбирается с учетом последствий, так как управление, оптимизирующее целевую функцию только для данного шага, может привести к неоптимальному эффекту всего процесса. Управление на каждом шаге должно быть оптимальным с точки зрения процесса в целом.

Управление в каждом шаге надо выбирать с учетом его последствий на предстоящих шагах. Это основное правило ДП, сформулированное Р. Беллманом называется принципом оптимальности.

Оптимальное управление обладает таким свойством, что каково бы ни было начальное состояние на любом шаге и управление, выбранное на этом шаге, последующие управления должны выбираться оптимальными относительно состояния, к которому придет система в конце данного шага.

Использование этого принципа гарантирует, что управление, выбранное на любом шаге, является не локально лучшим, а лучшим с точки зрения процесса в целом.

### **Общее описание процесса моделирования и построения вычислительной схемы динамического программирования**

Общая задача оптимизации, чтобы ее можно было описать моделью ДП должна удовлетворять следующим условиям:

1. Задача может интерпретироваться как n-шаговый процесс управления, а показатель эффективности процесса может быть представлен в аддитивной форме, т.е. как сумма показателей эффективности на каждом шаге.

2. Структура задачи инвариантна относительно числа шагов  $n$ , т. е. должна быть определена для любого  $n$  и не зависеть от этого числа.

3. На каждом шаге состояние системы определяется конечным числом  $s$  параметров состояния и управляется конечным числом  $r$  переменных управления, причем  $s$  и  $r$  не зависят от числа шагов  $n$ .

4. Выбор управления на  $k$ -м шаге не влияет на предшествующие шаги, а состояние в начале этого шага есть функция только предшествующего состояния и выбранного на нем управления (отсутствие последствия).

Построение модели сводится к следующим основным моментам:

1) выбирают способ деления процесса на шаги;  
 2) вводят параметры состояния  $\bar{\xi}_k = (\bar{\xi}_k^{(1)}, \bar{\xi}_k^{(2)}, \dots, \bar{\xi}_k^{(s)})$  и переменные управления  $\bar{u}_k = (\bar{u}_k^{(1)}, \bar{u}_k^{(2)}, \dots, \bar{u}_k^{(r)})$  на каждом шаге процесса;

3) записывают уравнение состояния

$$\bar{\xi}_k = F(\bar{\xi}_{k-1}, u_k); \quad (10)$$

4) вводят показатели эффективности на  $k$ -м шаге  $f_k(\bar{\xi}_{k-1}, u_k)$  и суммарный показатель – целевую функцию

$$Z = \sum_{k=1}^n f_k(\bar{\xi}_{k-1}, u_k); \quad (11)$$

5) вводят в рассмотрение условные максимумы  $Z_k^*(\bar{\xi}_{k-1})$  показателя эффективности от  $k$ -го шага (включительно) до конца процесса и условные оптимальные управления на  $k$ -м шаге  $u_k^*(\bar{\xi}_{k-1})$ ;

6) из ограничений задачи определяют для каждого шага множества  $D_k$  допустимых управлений на этом шаге;

7) записывают функциональные уравнения Беллмана

$$Z_k^*(\bar{\xi}_{k-1}) = \max_{u_k \in D_k} \{f_k(\bar{\xi}_{k-1}, u_k) + Z_{k+1}^*(\bar{\xi}_k)\} \quad (12)$$

$$Z_n^*(\bar{\xi}_{n-1}) = \max_{u_n \in D_n} \{f_n(\bar{\xi}_{n-1}, u_n)\}. \quad (13)$$

Несмотря на единообразие в общем построении модели ДП, приведенном выше, вычислительная схема строится в зависимости от размерности задачи,

характера модели (дискретной или непрерывной), вида функций (10), (11) и других характеристик модели. При всем разнообразии вычислительных схем ДП можно отметить в них некоторые общие черты.

1. Решение уравнений (12) проводят последовательно, начиная с (13). Этот этап получил название условной оптимизации.

2. В результате последовательного решения  $n$  частных задач на условный максимум определяют две последовательности функций:  $\{Z_k^*(\xi_{k-1})\}$  — условные максимумы и соответствующие им  $\{u_k^*(\xi_{k-1})\}$  — условные оптимальные управления.

3. Указанные последовательности функций в дискретных задачах получают в табличной форме, а в непрерывных моделях их можно получить аналитически.

4. После выполнения первого этапа (условной оптимизации) приступают ко второму этапу — безусловной оптимизации.

а) Если начальное состояние  $\xi_0^*$  задано ( $\xi_0 = \xi_0^*$ ), то непосредственно определяют максимум целевой функции  $Z_{\max} = Z_1^*(\xi_0^*)$ , (14)

а затем — искомое безусловное оптимальное управление по цепочке

$$\xi_0^* \rightarrow u_1^* \rightarrow \xi_1^* \rightarrow u_2^* \rightarrow \xi_2^* \rightarrow \dots \rightarrow u_n^* \rightarrow \xi_n^*. \quad (15)$$

В этой цепочке переход, указанный сплошной линией, проводят по последовательности  $\{u_k^*(\xi_{k-1})\}$ , а пунктирной — с помощью уравнений состояний.

б) Если задано множество  $\Omega_0$  начальных состояний,  $\xi_0 \in \Omega_0$ , то дополнительно решают еще одну задачу на максимум:

$$Z_{\max} = \max_{\xi_0 \in \Omega_0} \{Z_1^*(\xi_0)\}, \quad (16)$$

откуда находят  $\xi_0^*$ , а затем, как и в п. а), по цепочке (3.6) — безусловное оптимальное управление.

Иногда на этапе условной оптимизации вычислительный процесс удобно строить в направлении, обратном описанному выше, т. е. от 1-го шага к л-му.

Этот способ получил название *прямого хода* вычислений в отличие от вышеизложенного, который называется *обратным ходом*. Уравнения состояний для прямого хода удобно записывать в виде

$$\xi_{k-1} = T_k(\xi_k, u_k) \quad (k=1, \dots, n). \quad (17)$$

$$Z_k^*(\xi_k) = \max_{u_k \in D_k} \{f_k(\xi_k, u_k) + Z_{k-1}^*(\xi_{k-1})\} \quad (k=2, \dots, n); \quad (18)$$

$$Z_1^*(\xi_1) = \max_{u_1 \in D_1} \{f_1(\xi_1, u_1)\} \quad (19)$$

В результате решения этих уравнений получим последовательности

$$Z_1^*(\xi_1), Z_2^*(\xi_2), \dots, Z_n^*(\xi_n); u_1^*(\xi_1), u_2^*(\xi_2), \dots, u_n^*(\xi_n) \quad (20)$$

Этап безусловной оптимизации не отличается принципиально от аналогичного этапа в обратном ходе вычислений:  $Z_{\max} = Z_n^*(\xi_n^*)$ , если  $\xi_n = \xi_n^*$  задано, или

$$Z_{\max} = \max_{\xi_n \in \Omega_n} \{Z_n^*(\xi_n)\}, \quad (21)$$

если указано множество  $\Omega_n$  возможных конечных состояний. Далее, определяем безусловное оптимальное управление по цепочке

$$\begin{array}{ccccccc} \xi_n^* & \rightarrow & u_n^* & \rightarrow & \dots & \rightarrow & \xi_{k-1}^* \rightarrow u_{k-1}^* \rightarrow \dots \\ & & & & \dots & & \dots \rightarrow \xi_1^* \rightarrow u_1^* \rightarrow \xi_0^* \end{array} \quad (22)$$

Основными задачами, решаемыми с помощью динамического программирования, являются задачи распределения ресурсов и задачи управления запасами, что является одной из задач, решаемых на втором и третьем уровне планирования.

**Перепланирование графика производства** – этап, отвечающий за корректировку графика с учетом изменения входящих данных или данных о полном или частичном невыполнении графика, спланированного ранее.

В зависимости от масштаба изменений перепланирование может быть на

любом из уровней планирования.

Если изменение произошло в рамках параметров, используемых только на внутрицеховом уровне, то перепланирование идет только на оперативном уровне, не затрагивая двух верхних. В иных случаях перепланирование идет по схеме сверху вниз, т.е. сначала перепланируется самый высокий из затронутых уровней, а оперативный уровень переформируется последним.

Каждое изменение должно исследоваться для проверки уровня влияния.

Параметром оценки качества графика может считаться его выполнимость и количество перепланирований.

Для сокращения количества перепланирований применяется принцип: чем больше горизонт планирования, тем меньше точность и больший процент резерва.

**В третьей главе** описаны алгоритмы планирования используемые на каждом из уровней их цели, функциональные возможности, критерии оценки готовности начальных данных, параметры для построения оценки модели выполнимости плана, критерий для оценки выполнимости плана.

## **1. Предварительное планирование**

### **Цели:**

- предоставить результаты проверки готовности исходных данных для планирования
- предоставить результаты анализа выполнимости плана по срокам

### **Функциональные возможности:**

- проверка наличия спецификаций и технологических карт по всей производимой номенклатуре
- проверка состава групп взаимозаменяемости оборудования, а также проверка графиков работы оборудования
- возможность установки признака запрета информирования о выявленных недочетах в конкретной номенклатуре или группе взаимозаменяемости
- построение графика последовательности изготовления деталей с расшифровкой по требуемым и доступным ресурсам (фонду времени работы оборудования)

**Критерии оценки готовности исходных данных:**

- наличие спецификаций и тех. карт со статусом «утверждено», степень заполнения норм в тех. картах
- наличие заполненных графиков работы рабочих центров, действующих в течение предполагаемого/задействованного периода планирования
- наличие оборудования в группах взаимозаменяемости
- достижение количества доступного для работы оборудования (не на ремонте) в группах взаимозаменяемости минимального порогового значения (в % от кол-ва в группе взаимозаменяемости и в абсолютном выражении)

**Параметры для построения модели оценки выполнимости плана:**

- горизонт планирования, установленный пользователем
- директивные сроки выполнения заказов (сроки указаны в производственной программе): для определения начальных точек, от которых строить график вперед, и конечных точек, от которых строить график назад.
- графики работы станков, действующие в заданном периоде планирования: агрегируется в суммарное время доступности оборудования (автоматически рассчитываемое на каждый момент запуска деталей каждого вида)
- спецификации и технологические карты, последние установленные основными и утвержденные до даты запуска детали по плану (для определения суммарной длительности выполнения операций)
- количество деталей для изготовления (по данным из производственной программы с учетом запасов)
- максимальный % использования фонда времени работы оборудования (не по каждому станку, но можно предлагать по умолчанию среднее значение по всем станкам, задействованным в группах взаимозаменяемости)
- коэффициент выполнения норм (чем выше, тем быстрее изделия изготовятся по плану)
- возможен отбор по производственной программе

- выполненные по данному сценарию укрупненные и оперативные планы (с другими отборами)

### **Критерий для оценки выполнимости плана:**

- Показатель для плана: "Выполним / Не выполним". Для формирования этого показателя будет использоваться коэффициент исполнимости, рассчитываемый как %-ное отношение длительности предварительного плана изготовления изделий к длительности интервала времени до горизонта планирования.

## **2. Планирование на APS – уровне**

При составлении расписания одновременно учитываются, как ограничения по обеспеченности материалами, комплектующими и полуфабрикатами, так и доступные мощности предприятия с учетом их текущей и спланированной загрузки. В алгоритмах, в зависимости от схемы работы конкретного предприятия, могут учитываться процессы переналадки и транспортировки, а также обязательного входного и промежуточного контроля качества материалов и полуфабрикатов и иные параметры технологической среды.

Первым шагом на APS-уровне является разбиение всего производственного процесса на этапы производства и формирование списка необходимых материалов и комплектующих с указанием способа воспроизводства: покупка или собственное производство.

Этап производства – это часть производственной цепочки, выполняющаяся в одном подразделении и завершающаяся выпуском полуфабриката или готового изделия.

APS-подсистема согласно заданным параметрам планирования размещает на графике этапы производства в первой степени приближения. При этом используется ограниченный набор параметров и критериев, часть данных отбрасывается. После оптимизации и построения нового графика работы цеха, могут обнаружиться дополнительные резервы доступности оборудования и как следствие появляется возможность в рамках планируемого периода выполнить

дополнительные заказы. Тем самым достигается эффект увеличения пропускной способности производства.

Для достижения прогнозируемости и прозрачности плановых сроков выпуска продукции и оптимизации графика производства, необходимы следующие механизмы планирования:

- планирование материалов и ресурсов согласно BOM (Bill of Material) для всей планируемой номенклатуре предприятия;
- управление цепочками поставок;
- входной и промежуточный контроль качества: как для поступающих материалов и комплектации, так и для выпускаемых полуфабрикатов;
- детальное планирование и оперативный диспетчерский контроль выполнения расписания работы оборудования;
- оперативное реагирование на изменение входных данных: графиков доступности оборудования, обеспеченности заказов, возникновение брака;

Это возможно только в том случае, если мы используем APS и MES вместе.

Планирования этапов производства отрабатывается по следующей схеме.

**Шаг 1:** оценка длительности этапа с учетом распараллеливания, т.е. для каждой операции берем штучное время  $t_{шт}$ , время подготовительное заключительное  $t_{пз}$ , количество. Если операция выполняется для партии или может одновременно для разных единиц выполняться на разных станках, тогда  $T_{операции} = \text{Кол-во партий} * (t_{шт} + t_{пз}) * \text{Коэффициент поправки}$ .

Коэффициент поправки – либо процент, либо фиксированное число, на которое увеличивается общее время операции от нормативного для планирования межцехового уровня.

$T_{работы оборудования} = \sum T_{операции}$  для всех операций этапа.

Если партии выполняются одновременно на разных РЦ, то общая длительность этапа  $T_{этап}$  может быть меньше  $T_{работы оборудования}$ , но так как партии могут запускаться не одновременно, то для учета берем большее из  $T$ .

**Шаг 2:** определение в какое кол-во интервалов планирования укладывается этап.

Минимальный интервал планирования для межцехового уровня - день.  
Возможные варианты: день, неделя, месяц.

Если  $T_{\text{этап}} <$  интервала планирования, тогда весь этап можно разместить в одном интервале. Если  $T_{\text{этап}} =$  интервала планирования, тогда занимаем два интервала планирования. Если  $T_{\text{этап}} >$  интервала планирования, тогда смотрим сколько интервалов планирования укладывается в  $T_{\text{этап}}$ .

Если  $1 < (T_{\text{этап}} / \text{Интервал планирования}) < 2$ , тогда 2. Если  $2 \leq (T_{\text{этап}} / \text{Интервал планирования}) < 3$ , тогда 3 и т.д.

**Шаг 3:** определяем доступность оборудования.

Для каждого интервала планирования для каждого подразделения оцениваем  $T_{\text{ГРЦ}}$  - общее доступное время для каждой группы заменяемости РЦ(ГРЦ) отдельно, при пересечении ГРЦ с учетом коэффициента принадлежности.

Коэффициент принадлежности корректируется с учетом загрузки оборудования при планировании. На первом шаге берется коэффициент равный для всех задействованных групп, т.е.  $K = 1/\text{Кол-во ГРЦ}$

Например, РЦ задействован в 3 ГРЦ, тогда к каждой ГРЦ относится 1/3 доступного машинного времени с учетом резервов.

**Шаг 4:** определяем загрузку для ГРЦ для 1 интервала планирования.

Собираем данные обо всех этапах, как уже запланированных, так и новых, которые должны выполняться в этот интервал в этом подразделении.

Формируем  $Z_{\text{ГРЦ}}$  общую загрузку для каждой ГРЦ.

Если для ГРЦ  $Z_{\text{ГРЦ}} < T_{\text{ГРЦ}}$ , тогда операции, сформировавшие  $Z_{\text{ГРЦ}}$  могут быть запланированы в текущем интервале и идет проверка на возможность их выполнения.

Для каждого этапа производства существует последовательность выполнения операций, для каждой операции есть ГРЦ, на которой она выполняется. Если загрузка ГРЦ позволяет выполнение текущей операции, тогда с учетом последовательности операций проверяем состояние предшествующей операции.

Если данная операция первая в этапе, тогда просто планируем ее и из  $T_{\text{ГРЦ}}$  для данной группы ГРЦ вычитаем  $T_{\text{операции}}$ , т.е. следующую операцию на данной

ГРЦ планируем с учетом уже занятого периода.

Если операция не первая в этапе проверяем состояние всех связанных операций от начала этапа до текущей. Для того чтобы запланировать текущую операцию в этот интервал должны выполняться следующие условия:

1. Все предшествующие операции уже запланированы.
2. Нет ни одной предшествующей операции в следующих интервалах планирования.

Возможны три состояния при проверке:

1. Все операции запланированы в текущий этап или раньше, тогда планируем операцию.
2. Одна или несколько предшествующих операций еще не запланированы, тогда подвешиваем операцию в «лист ожидания».
3. Одна или несколько предшествующих операций попали в следующие интервалы планирования, тогда эта операция так же уходит из текущего интервала.

Если для ГРЦ  $Z_{ГРЦ} > T_{ГРЦ}$ , тогда часть операций необходимо перенести на другой интервал планирования.

Порядок действий:

1. Строим очередь операций для данной ГРЦ согласно приоритетам заказов и этапов.
2. Начиная с самой приоритетной проверяем выполнимость предшествующих операций. Если операция первая в этапе, тогда планируем. Если есть предшествующие, то смотрим запланированы ли они. Если запланированы на текущий или предшествующий интервал, тогда планируем и текущую операцию. Если на последующий интервал, тогда переносим туда и текущую операцию.
3. Корректируем время  $T_{ГРЦ}$  с учетом запланированных операций. Повторяем пункт 2 до тех пор, пока не закончатся операции в очереди или доступное время работы. Оставшиеся операции автоматически переносятся на следующие интервалы планирования.

*Замечание 1:* если в ГРЦ есть РЦ с коэффициентом принадлежности меньше

1, тогда, в случае если  $Z_{ГРЦ} > T_{ГРЦ}$  делаем проверку на прочие ГРЦ этого РЦ и корректируем коэффициент принадлежности.

*Замечание 2:* планирование идет по объему и без учета загрузки конкретного оборудования.

*Замечание 3:* в качестве исключения есть возможность ручного ввода загрузки конкретного РЦ в случае, если время операции много больше интервала планирования. Тогда в этапе диспетчер сам может проставить загрузку конкретного РЦ и сроки выполнения операции. Для автоматического планирования этот РЦ на этот период из  $T_{ГРЦ}$  исключается.

**Шаг 5:** проверяем график этапа производства.

Если для этапа запланированы все операции, тогда можно переходить к планированию следующего, связанного с ним этап, начиная с интервала планирования следующего за интервалом последней операции.

Для каждой операции этапа строится коэффициент выполнимости, т.е. строим последовательность запланированных операций, для каждой операции смотрим соотношение  $K = Z_{ГРЦ} / T_{ГРЦ}$ .

В зависимости от горизонта планирования и удаленности интервала от начала планирования рассматриваем разные ограничения на  $K$ .

1.  $T_{ГРЦ}$  – всегда меньше общего доступного времени. Обязательный резерв.
2. В зависимости от  $i$  – номер интервала планирования. Максимальное значение  $K$  уменьшается:

- на 5% каждые 10 интервалов для интервала в день
- на 5% каждые 5 интервалов для интервала в неделю
- на 5% каждый интервал для интервала в месяц.

3. Так как последовательность операций внутри этапа производства отслеживается только по доступности машинного времени, то возможен вариант, когда при загрузке оборудования, приближающейся к максимальной операции, попадут на одно и то же время. Если для обеих операций  $K < 0,6 * K_{max}$ , тогда вероятность этого мала, иначе может потребоваться перепланирование. В

качестве решения настраивается автоматическое перепланирование для  $K$  превышающих граничное значение или организационно разносить такие операции в отдельные интервалы планирования.

Шаг 6: для каждого этапа строим график потребности в материалах, комплектующих и полуфабрикатах. С возможностью указать или начало этапа, или конкретную операцию в этапе.

### 3. Планирование на MES-уровне

**MES (Manufacturing Execution System)** — исполнительная система производства, объединяющая в себе инструменты и методы управления производством в режиме реального времени.

Основными функциями системы являются детальное (пооперационное) планирование и диспетчеризация производства в пределах цеха. Благодаря этим двум функциям система считается системой оперативного характера, нацеленной на формирование расписаний работы оборудования и оперативное управление производственными процессами в подразделении. Планирование осуществляется как в рамках совместной работы подразделений, так и внутри конкретного цеха\подразделения.

При планировании система использует меньший горизонт планирования, чем  $aps$ -уровень, но при этом оперирует не одним, двумя критериями, а несколькими десятками, что дает возможность диспетчеру цеха строить расписание с учетом различных производственных ситуаций. Такими критериями могут быть уменьшение общего срока выполнения всего задания, уменьшение длительности операций переналадок или их количества, перераспределение загрузки между станками в рамках группы заменяемости и т.п. Составления и пересчета расписания выполняется в оперативном режиме. Это достигается с одной стороны за счет контроля за ситуацией в режиме реального времени, что позволяет заранее предвидеть все возможные нарушения расписаний и вовремя принимать соответствующие меры. А с другой стороны, за счет использования «жадных» алгоритмов при планировании, что позволяет в разы сократить время расчета

расписания не сильно теряя в точности.

Такое планирование упорядочивает производственные задания с учетом очередности, атрибутов и характеристик, связанных со спецификой изделий таких как: форма, цвет, последовательность операций и технология производства.

Используя данные уровней планирования и контроля, MES-системы управляют текущей производственной деятельностью в соответствии с поступающими заказами, требованиями конструкторской и технологической документации, актуальным состоянием оборудования, преследуя при этом цели максимальной эффективности и минимальной стоимости выполнения производственных процессов.

На внутрицеховом уровне происходит уточнение графика производства.

Используя в качестве директивных сроков данные полученные на APS – уровне необходимо распределить операции с точностью до рабочего центра и рабочей смены. Применяя методы динамического программирования с учетом обязательного набора критериев системы: горизонт планирования, точность планирования, учет переналадок оборудования, учет транспортировок и т.д.

**В четвертой главе** описаны результаты реализации предложенной схемы оперативного управления производством, реализованной в рамках программно-аппаратного комплекса «1С-Каскад».

Проект по автоматизации оперативного управления производством (ОУП) всегда является частью другого большего проекта по автоматизации предприятия, т.к. ОУП отдельно существовать не может, являясь частью общего контура по управлению.

Любой проект по автоматизации ОУП можно разделить на две большие части: организационную и техническую. Сказать какая из этих частей важнее не возьмется ни один эксперт.

Какое бы самое современное оборудование и программное обеспечение не использовалось на предприятии, но при отсутствии четко сформулированных правил и регламентов, регулирующих работу предприятия в целом и в части работы с системой в частности, положительного эффекта не будет. Но при этом

самые совершенные регламенты не помогут оперативно и адекватно рассчитать загрузку производства, если самым современным вычислительным инструментом на предприятии будет логарифмическая линейка.

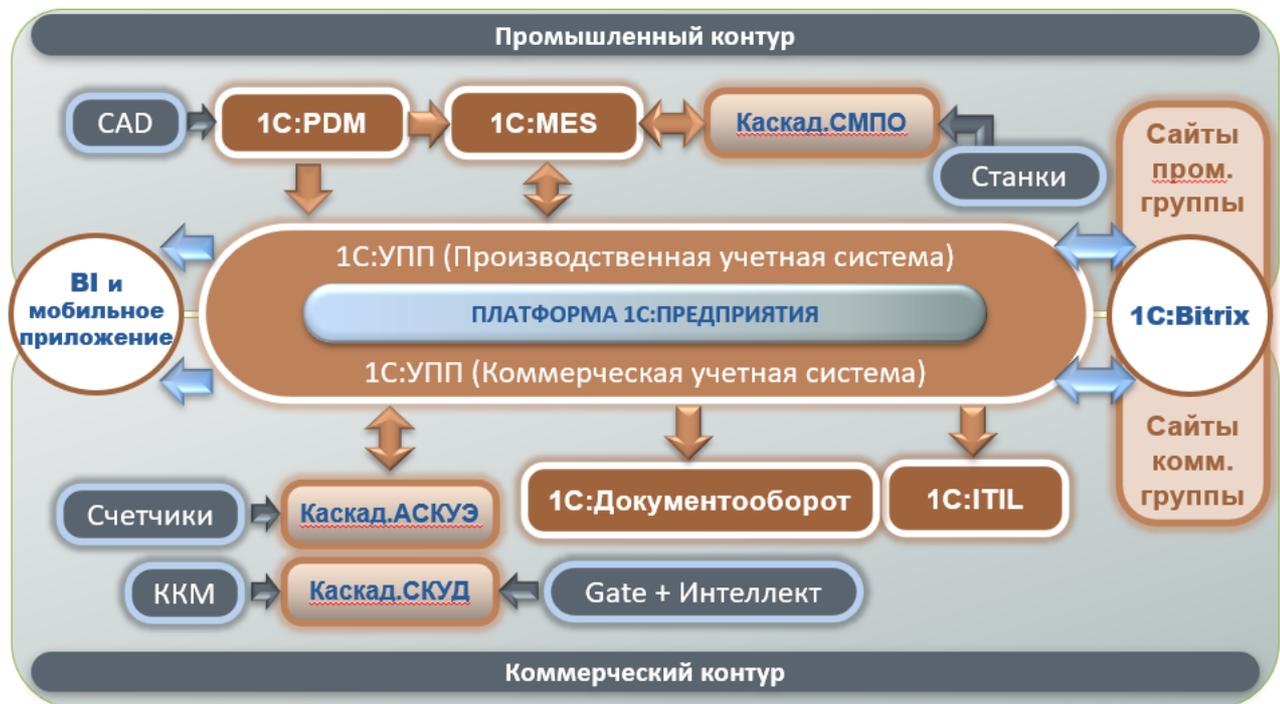


Рис. 2. Общая архитектура «1С-Каскад»

Общая схема информационных потоков контура оперативного управления производством в программно-аппаратном комплексе «1С-Каскад» представлена на рисунке ниже (Рис.3).

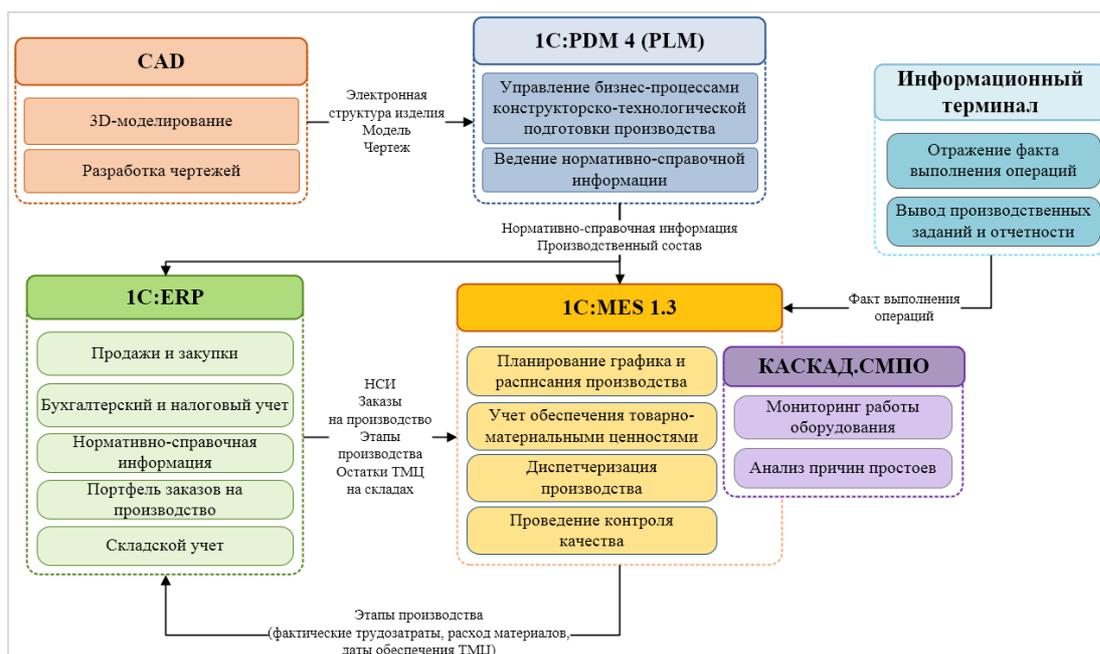


Рис. 3. Информационные потоки ОУП

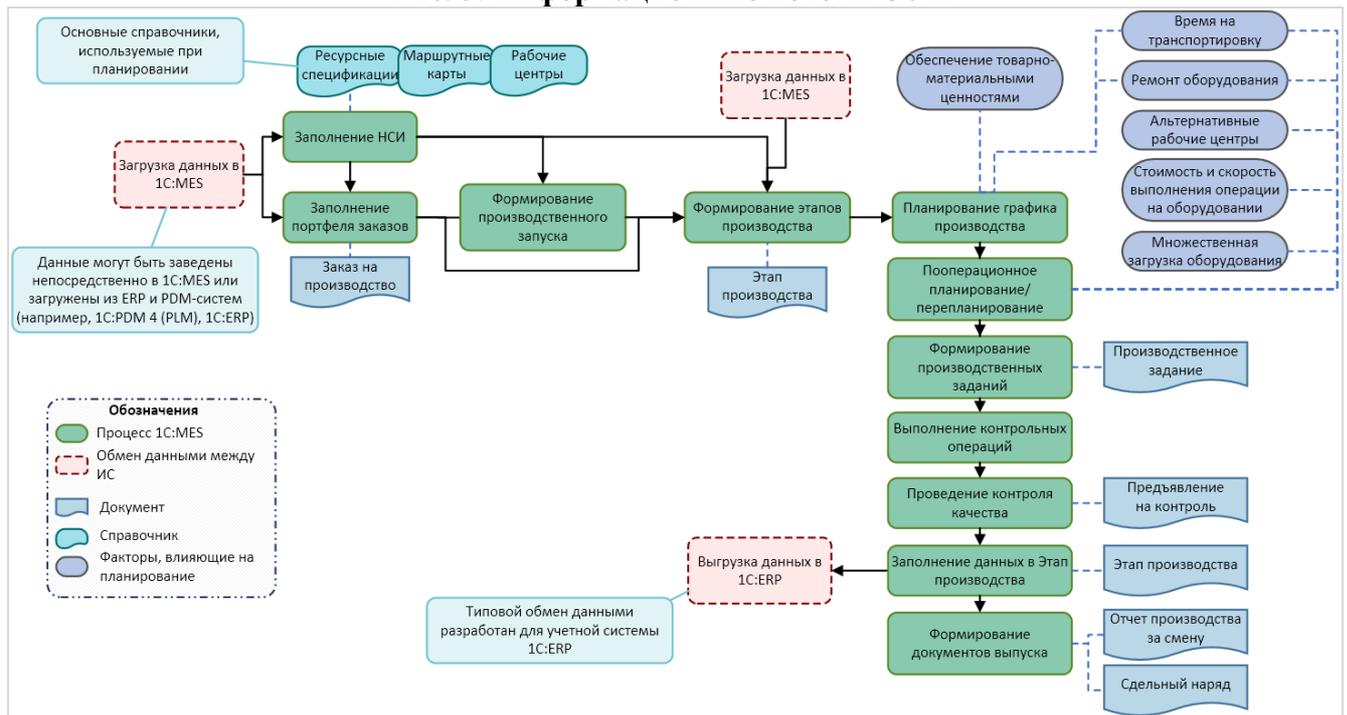


Рис. 4. Производственный процесс в 1С:MES

На рисунке (Рис.4) приведена схема производственного процесса, реализованная в рамках программного продукта «1С:MES. Оперативное управление производством».

При разработке функционала блоков «планирование графика производства» и «пооперационное планирование\перепланирование» использовались результаты исследования.

В рамках дальнейшего развития программного продукта предполагается добавить следующие возможности.

1. Получение обратной связи непосредственно с промышленного оборудования без участия оператора. В рамках 3-х стороннего соглашения с фирмой «1С» и компанией «Касперский».
2. Оптимизация планирования за счет учета «быстрых переналадок».

Введение в качестве критериев планирования:

- Минимизация количества переналадок;
- Минимизация стоимости переналадок;
- Минимизация длительности переналадок;
- Минимизация длительности остановок оборудования.

### 3. Учет при планировании переналадок:

- Необходимость дополнительного оборудования\инструмента;
- Учет периодичности переналадки, в том числе в пределах одной операции;
- Учет наработки оснастки и\или инструмента.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам проведенных исследований с целью расширения существующих моделей планирования и перепланирования производства с учетом данных обратной связи с производства (как о состоянии оборудования, так и о своевременности начала выполнения операции) на основании определенных критериев оптимизации плана производства и параметров, используемых при его формировании, удалось построить эффективную систему оперативного управления производством с быстрым и корректным откликом на изменения состояния производства и начальных данных.

Данная система была апробирована в рамках автоматизации ОАО «ЛЕНПОЛИГРАФМАШ» и может быть использована на других производственных предприятиях точного приборо- и машиностроения.

## III. ОСНОВНЫЕ НАУЧНЫЕ ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИОННОГО ИССЛЕДОВАНИЯ

### Публикации в ведущих рецензируемых научных изданиях

1. **Биченкова О.Ф.** Распределение плановых норм времени при планировании производства. /О.Ф. Биченкова, Е.М. Сафронова, Л.В. Черненькая// Международный научно-исследовательский журнал. – 2021. – № 1-1 (103). – С. 129-134. – DOI: 10.23670/IRJ.2021.103.1.019 – EDN ZEMDEC (ВАК).

2. **Биченкова О.Ф.** Использование переналадки оборудования в качестве критерия оптимизации при планировании производства. Минимизация длительности, стоимости и количества переналадок. /О.Ф. Биченкова, Л.В. Черненькая// Международный научно-исследовательский журнал. – 2022. (в печати) (ВАК).

### Статьи и материалы конференций

3. **Биченкова О.Ф.** Модели предварительного планирования в программном комплексе «1С-Каскад»/ О.Ф. Биченкова, Л.В. Черненко // Системный анализ в проектирование и управлении: Сборник научных трудов XX Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 29 июня – 1 июля 2016 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016. – С. 380-384. -EDN WIBATJ (РИНЦ).
4. **Биченкова О.Ф.** Развитие алгоритмов планирования обеспеченности производства на основе программного комплекса «1С-Каскад»/ О.Ф. Биченкова // ИНФОРМАТИКА И КИБЕРНЕТИКА (COMCON-2016): Сборник докладов студенческой научной конференции Института компьютерных наук и технологий. Санкт-Петербург, 4-9 апреля 2016 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2016 – С.3-6. - EDN WIBBEX(РИНЦ).
5. **Биченкова О.Ф.** APS-уровень: контроль качества при планировании этапов производства»/ О.Ф. Биченкова, Л.В. Черненко // Системный анализ в проектирование и управлении: Сборник научных трудов XXI Международной научно-практической конференции в 2-х томах, Санкт-Петербург, 29-30 июня 2017 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2017. – С. 368-374. -EDN ZGGKGL (РИНЦ).
6. **Биченкова О.Ф.** Построение оптимального расписания с учетом условия предшествования. / О.Ф. Биченкова, Л.В. Судакова, Л.В. Черненко // Системный анализ в проектирование и управлении: Сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10-11 июня 2019 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2019. – С. 315-320. -EDN KRENHV (РИНЦ).
7. **Биченкова О.Ф.** Оперативное управление дискретным производством при помощи полиномиального алгоритма. / О.Ф. Биченкова, Л.Г. Потапова, Л.В.

Черненькая // Системный анализ в проектирование и управлении: Сборник научных трудов XXIII Международной научно-практической конференции, Санкт-Петербург, 10-11 июня 2019 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2019. – С. 119-124. -EDN OZPRNJ (РИНЦ).

8. **Биченкова О.Ф.** ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКИ КАК ПРОБЛЕМА КАЧЕСТВА ИСХОДНЫХ ДАННЫХ В ИНФОРМАЦИОННЫХ СИСТЕМАХ. / О.Ф. Биченкова, Е.М. Сафронова// Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: Сборник научных статей по итогам седьмой международной научной конференции, Казань, 31 августа 2019 года. – С. 121-123. - EDN OOLGCI (РИНЦ).
9. **Биченкова О.Ф.** ПОВЫШЕНИЕ КАЧЕСТВА ПРОИЗВОДСТВЕННОЙ ЛОГИСТИКИ ЗА СЧЕТ ОПЕРАТИВНОЙ АКТУАЛИЗАЦИИ ДАННЫХ О РАБОТЕ ОБОРУДОВАНИЯ. / О.Ф. Биченкова, Е.М. Сафронова// Передовые инновационные разработки. Перспективы и опыт использования, проблемы внедрения в производство: Сборник научных статей по итогам седьмой международной научной конференции, Казань, 31 августа 2019 года. – С. 121-125. - EDN IKRLJN (РИНЦ).
10. **Биченкова О.Ф.** РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ СЛУЖБЫ ГЛАВНОГО ТЕХНОЛОГА С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ИНФОРМАЦИОННЫХ ОЦЕНОК. / О.Ф. Биченкова, Л.В. Судакова, Л.В. Черненькая // Системный анализ в проектирование и управлении: Сборник научных трудов XXIV Международной научно-практической конференции в 3 частях, Санкт-Петербург, 13-14 октября 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. – С. 182-190. -EDN HUYRJU (РИНЦ).
11. **Биченкова О.Ф.** РАЗРАБОТКА ИНФОРМАЦИОННОГО КОМПЛЕКСА ДЛЯ КОНСТРУКТОРСКОГО БЮРО. / О.Ф. Биченкова, Л.Г. Потапова, Л.В. Черненькая // Системный анализ в проектирование и управлении: Сборник

научных трудов XXIV Международной научно-практической конференции в 3 частях, Санкт-Петербург, 13-14 октября 2020 года. – Санкт-Петербург: Санкт-Петербургский политехнический университет Петра Великого, 2020. – С. 171-182. -EDN ZSAAUS (РИНЦ).

### **Свидетельство о государственной регистрации**

- 12.Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2020667006 Российская Федерация. «Обработка отчета о составе изделия»: №:2020666609: заявл. 11.12.2020: опубл. 18.12.2020/ О.Ф. Биченкова, Д.В. Голуб, Е.М. Сафронова; Заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Каскад технологии".
- 13.Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2020667463 Российская Федерация. «Обработка связи с блоками мониторинга»: № 2020666577: заявл. 11.12.2020: опубл. 23.12.2020/ О.Ф. Биченкова, Д.В. Голуб, Е.М. Сафронова; Заявитель Общество с ограниченной ответственностью "Каскад технологии".