

На правах рукописи

Кузина Светлана Михайловна

**РАЗРАБОТКА ИНСТРУМЕНТОВ ПЛАНИРОВАНИЯ ПРОЦЕССОВ
ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА НА ОСНОВЕ ИМИТАЦИОННОГО
МОДЕЛИРОВАНИЯ**

Специальность 05.02.22 - «Организация производства (машиностроение)»

Автореферат
диссертации на соискание ученой степени
кандидата технических наук



Москва – 2019

Работа выполнена на кафедре технологий и систем автоматизированного проектирования металлургических процессов федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования «Московский авиационный институт (национальный исследовательский университет)».

Научный руководитель: **Галкин Виктор Иванович**
доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты: **Долгов Виталий Анатольевич**
доктор технических наук, доцент,
директор Центра специальных
машиностроительных технологий ФГБОУ
ВО «МГТУ «СТАНКИН»

Матвеева Елена Александровна
кандидат технических наук, доцент, доцент
кафедры прикладной информатики ФГБОУ
ВО «Поволжский государственный
университет телекоммуникаций и
информатики»

Ведущая организация: Федеральное государственное автономное
образовательное учреждение высшего
образования «Самарский национальный
исследовательский университет имени
академика С.П. Королева»

Защита состоится 28.03.2019 г. в 13:30 часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.23 при Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д.7, ауд. 414МТ.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и на сайте www.bmstu.ru.

Автореферат разослан «__» _____ 2019г.

Ученый секретарь
диссертационного совета, к.т.н.



Постникова Е.С.

ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

Актуальность темы исследования. Повышение эффективности машиностроительного предприятия является необходимым условием его успешной деятельности и дальнейшего развития. Фундаментом для экономических показателей результатов работы выступает этап подготовки производства. Именно в процессе подготовки производства определяется эффективность выполнения работ, закладываются основные технические параметры и экономические показатели предприятия, анализируются варианты организации производства, принимаются окончательные решения по объемам выпускаемой продукции и необходимому количеству оборудования. В случае возникновения ошибок в планировании производства на этапе подготовки предприятие не сможет обеспечить выполнение требований к ключевым показателям. При этом после перехода на выпуск серийной продукции устранение большого количества «узких мест» является сложной и дорогостоящей задачей.

Многие машиностроительные предприятия в России в настоящее время внедряют концепцию бережливого производства. Необходимо отметить, что перестроить функционирующее предприятие довольно сложно. Для достижения наибольшего эффекта основные критерии и принципы концепции должны закладываться на этапе подготовки производства.

В целях планирования и анализа результатов деятельности машиностроительного предприятия используют автоматизированные инструменты поддержки принятия управленческих решений. Однако существующие системы работают на основе статистических данных, что не удовлетворяет условиям этапа подготовки производства. Для эффективного управления подготовкой производства предприятиям необходим инструмент, позволяющий определить перспективы развития на основе расчетных данных.

Таким образом, разработка инструментов планирования процессов на основе расчетных данных является важной задачей для этапа подготовки производства. Его реализация возможна с помощью имитационного моделирования, которое позволяет рассматривать производство с позиций системы массового обслуживания, получать объективные расчетные данные с высокой точностью для оценки и прогноза параметров.

Степень разработанности темы исследования. Современные научные труды зарубежных и отечественных ученых содержат теоретические и методологические разработки, охватывающие важные аспекты исследуемой области. Задачи организации производства и проектирования производственных процессов на основе бережливого производства рассмотрели Вумек Д.П., Джексон Т., Имаи М., Ишикава, Вэйдер М. И, Адлер Ю.П., Баев Г.О., Фалько С. Г., Рыжикова Т. Н., Омельченко И. Н., Ларионов В.Г., Дроговоз П.А., Васильев В.А. и др. В области математического и имитационного моделирования производства большой вклад внесли: Орлов А.И, Цырков А.В., Захаров М.Н. и др.

Цель настоящей работы заключается в разработке инструментов планирования процессов подготовки производства для достижения эффекта от применения концепции бережливого производства с помощью комбинирования подходов имитационного моделирования.

Для достижения указанной цели требуется решить следующие **задачи**:

1. Анализ существующих методов и проблем планирования подготовки производства.
2. Построение функциональной и комбинированной имитационной моделей производственного процесса.
3. Обоснование системы критериальных выражений на основе бережливого производства, устанавливающей многофункциональные зависимости между параметрами производственного процесса.
4. Разработка имитационной модели управления ресурсами предприятия.
5. Разработка инструмента управления длительностью ожидания продукции незавершенного производства.
6. Разработка элемента системы поддержки принятия управленческих решений для определения рационального количества оборудования производственного предприятия.

Научная новизна исследования:

1. Построена комбинированная имитационная модель для планирования процессов подготовки производства.
2. Обоснована система критериальных выражений, в отличие от существующих позволяющая на этапе подготовки производства минимизировать основные виды потерь, определенные концепцией бережливого производства. Совмещение предложенных критериальных выражений в разработанной комбинированной имитационной модели позволило получить многофункциональные зависимости для определения рационального количества рабочих мест от программы выпуска изделий.
3. Предложена и разработана имитационная модель управления ресурсами предприятия на основе ПИ-регулятора, ранее применяемого в теории автоматического управления.
4. Предложены модели и инструменты планирования процессов подготовки производства, позволяющие определить оптимальное количество оборудования производственного предприятия с учетом достигнутого эффекта от бережливого производства с помощью комбинированного имитационного моделирования.

Объект исследования: системы поддержки принятия управленческих решений машиностроительных предприятий на этапе подготовки производства.

Предмет исследований: комбинированное имитационное моделирование для оптимизации производственных процессов и достижения эффекта от концепции бережливого производства.

Область исследования. Основные положения диссертации соответствуют паспорту специальности научных работников 05.02.22 –

Организация производства (машиностроение) и охватывает следующие области исследования, предусмотренные паспортом:

П.1 Разработка научных, методологических и системотехнических основ проектирования организационных структур предприятий и организации производственных процессов. Стратегия развития и планирования организационных структур и производственных процессов.

П.2 Разработка методов и средств эффективного привлечения и использования материально-технических ресурсов и инвестиций в организацию производственных процессов.

П.4 Моделирование и оптимизация организационных структур и производственных процессов, вспомогательных и обслуживающих производств. Экспертные системы в организации производственных процессов.

П.5 Разработка научных, методологических и системотехнических принципов повышения эффективности функционирования и качества организации производственных систем. Повышение качества и конкурентоспособности продукции, системы контроля качества и сертификации продукции. Системы качества и экологичности предприятий.

Положения, выносимые на защиту:

1. Комплекс моделей и инструментов планирования на основе комбинации подходов к имитационному моделированию, позволяющий планировать процессы подготовки производства.

2. Модель управления ресурсами на основе ПИ-регулятора для расчета рационального уровня запасов и соответствующего размера заказов

3. Обоснование критериев, направленных на сокращение потерь, определенных концепцией бережливого производства:

- потери от излишних запасов;
- сокращение ожидания продукции незавершенного производства;
- повышение эффективности использования рабочих мест.

Теоретическая и практическая значимость работы. Предложенные в диссертационной работе инструменты позволят машиностроительным предприятиям на этапе подготовки производства планировать количество требуемого оборудования, размер запасов для различной программы выпуска изделий, а также выявлять «узкие места» процессов, что обеспечит достижение эффекта от концепции бережливого производства. Применение основных положений работы, состоящих из комбинации инструментов, ранее используемых в разных областях науки, позволяет обеспечить управление ресурсами предприятия и сократить длительность ожидания продукции незавершенного производства.

Достоверность результатов исследования подтверждается тем, что все расчеты и эксперименты проведены в ранее разработанных и апробированных информационных системах. В целях оценки достоверности результатов, получаемых в разработанной имитационной модели, проведена верификация, которая подтвердила адекватность разработанной модели.

Личный вклад автора состоит в том, что все результаты и выводы получены соискателем лично в результате лично проведенных фундаментальных исследований, расчетов и экспериментов.

Апробация работы. Основные положения диссертации представлены на Всероссийских научно-практических конференциях «Применение ИПИ-технологий в производстве». Москва, 2012, 2013; на международных молодёжных научных конференциях «Гагаринские чтения». Москва, 2012, 2016 – 2018; на Шестнадцатой Международной научно-практической конференции «Управление качеством». Москва, 2017.

Результаты диссертационного исследования внедрены в ООО «ПАКС» и успешно используются в учебном процессе «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)». Реализация результатов диссертационной работы подтверждена соответствующими актами.

Публикации по теме диссертации. Основные результаты представлены в 10 научных трудах общим объемом 3,25 п.л., из которых 3 публикации объемом 2,375 п.л. в журналах, рекомендованных ВАК РФ.

Структура и объем диссертации. Диссертация состоит из введения, четырех глав, общих выводов и списка литературы (108 наименований). Диссертация содержит 163 страницы печатного текста, 71 рисунок, 21 таблица.

СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ

Во введении указана актуальность диссертационной работы, сформулированы цель и задачи, показаны научная новизна и практическая значимость результатов проведенной работы.

В первой главе «Обзор современных методов организации производства и инструментов планирования производственных процессов» проведен анализ существующих методик планирования и оптимизации производственных процессов машиностроительных предприятий, рассмотрены современные информационные системы поддержки принятия управленческих решений, применяемых в разных отраслях, в том числе в машиностроении. Установлено, что работа таких систем основывается на подходе DSS и накопленной статистической информации о производственных процессах, что не соответствует требованиям этапа подготовки производства. Существующие MES-системы не имеют необходимых функций для поддержки принятия управленческих решений при проектировании процессов. Отмечено, что многие небольшие компании не имеют финансовой возможности для приобретения дорогостоящих информационных систем. Эффективным вариантом для таких предприятий является система поддержки принятия управленческих решений на базе расчетных данных. Эффективным инструментом, позволяющим получить все необходимые расчетные данные на этапе подготовки производства, является имитационное моделирование.

Рассмотрены основные аспекты концепции бережливого производства как наиболее распространенной и эффективной методики организации производства. Предложено сформировать систему критериев, которая позволит

оказывать воздействие на основные потери, и опробовать ее результаты в разработанной имитационной модели.

Детально изучен рынок программ имитационного моделирования, основные характеристики и возможности систем. Наиболее перспективным для проведения исследований определен отечественный инструмент – Anylogic компании XJ Technologies. Данная система поддерживает все возможные подходы к имитационному моделированию: дискретно-событийный, системную динамику, агентное моделирование, - а также эта система позволяет совмещать их при разработке модели для построения производственного процесса.

Во второй главе «Методики, применяемые для разработки инструмента поддержки принятия управленческих решений» рассматриваются существующие методики, применяемые для разработки элемента автоматизированной системы принятия управленческих решений. В случае сложной производственной структуры предприятия целесообразно построение составной многоуровневой имитационной модели с позиций системы массового обслуживания. Первым шагом реализации такой системы является исследование структуры, характеристик и параметров производственных систем. Метод IDEF0 позволяет получить всю необходимую информацию о структуре рассматриваемых процессов и рассмотреть взаимосвязи между ними. На основе разработанной с помощью методики IDEF0 функциональной модели производственного процесса предлагается разработать многоуровневую имитационную модель.

Заключительным этапом разработки элемента автоматизированной системы принятия управленческих решений является обработка полученных данных. Во второй главе представлены методики дисперсионного анализа и проведения планирования эксперимента по центральному композиционному плану. Вычисление общей зависимости позволяет для разных вариантов входных параметров без дополнительных расчетов получать выходные значения системы. Таким образом, происходит переход от решения единичной оптимизационной задачи к получению общего решения.

В третьей главе «Построение имитационной модели производственных процессов и разработка критериального подхода на принципах концепции бережливого производства» на первом этапе исследований для детализации взаимосвязей системы методом IDEF0 построена функциональная модель производственного процесса для последующей разработки имитационной модели.

Функциональная модель позволила выявить, что процесс имеет сложную структуру, в которой выделяются подпроцессы. В связи с этим разрабатываемая имитационная модель является многоуровневой и имеет следующую структуру: закупка комплектующих, производство деталей, хранение на складе, передача комплектующих на производство и сборка редукторов трёх типов.

В отличие от функционального моделирования имитационная модель строится «снизу вверх». Построены отдельные этапы, а затем выстроены взаимосвязи между ними.

Учитывая, что для организации сборочного производства требуется большое количество закупок у разных поставщиков, разработан шаблон «Закупка комплектующих», который в дальнейшем тиражируется на каждого поставщика. Шаблон состоит из 5 подпроцессов, для каждого из которых задана своя длительность (Рисунок 1). Длительности в имитационной модели имеют вероятностный характер, что делает результаты более точными. В работе для всех параметров используется треугольный закон распределения случайных величин.

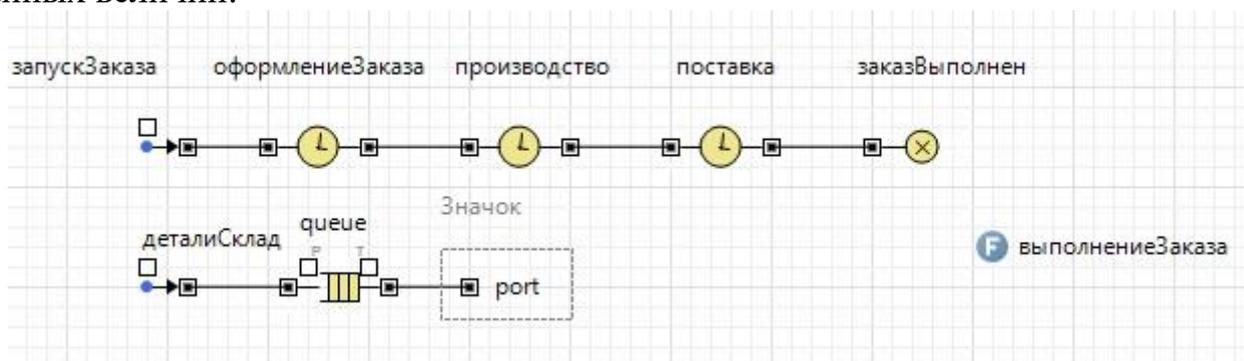


Рисунок 1. Диаграмма «Закупка комплектующих»

Далее разработана модель адресного хранения комплектующих на складе. На диаграмму процесса выведено 8 шаблонов «Закупка комплектующих», что соответствует количеству поставщиков. Для каждого наименования детали предусмотрена отдельная ячейка для хранения по правилам бережливого производства (Рисунок 2).

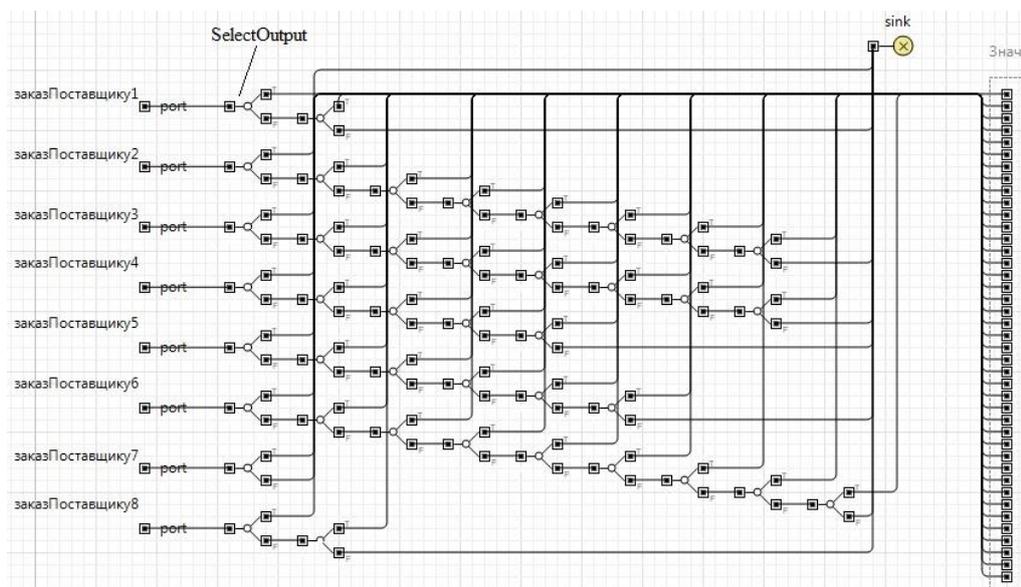


Рисунок 2. Диаграмма сортировки и адресного хранения комплектующих

В работе представлена модель процесса передачи комплектующих со склада в производство. Для каждой детали построена связка с изделиями, в состав которых оно входит. Модель производит проверку потребностей

производства в каждой очередной детали и передает ее на сборку. Данный шаблон тиражируется для каждого наименования комплектующего.

Представлена модель изготовления деталей, состоящая из нескольких подпроцессов. Модель представляет собой систему массового обслуживания, состоящую из последовательных операций. Изготовленные и прошедшие входной контроль детали также с помощью шаблона передаются на склад, где хранятся в своей ячейке (Рисунок 3).

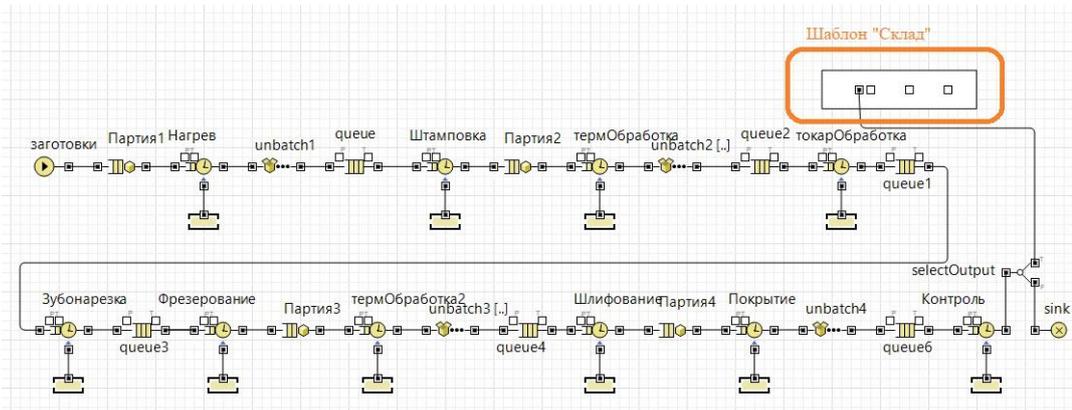


Рисунок 3. Модель процесса изготовления деталей

Для моделирования процессов сборки редукторов трёх типов разработаны отдельные диаграммы. На Рисунке 4 представлена модель процесса сборки редуктора типа А.

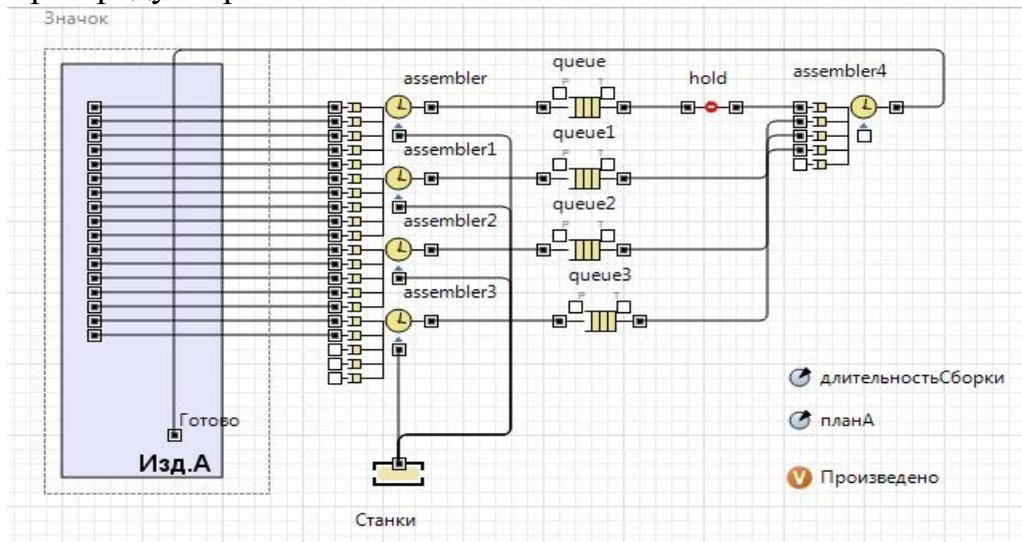


Рисунок 4. Модель процесса сборки редуктора типа А

На диаграмме представлены процессы сборки отдельных узлов и их соединение в единое изделие. Разработанная схема позволяет учесть время, необходимое на сборку, количество рабочих мест, а также факт выполнения производственной программы. Процесс производства запускается только в случае наличия спроса на продукцию, т.е. когда количество произведенной продукции меньше производственной программы. Таким образом реализован принцип вытягивающего производства. Модели процессов сборки редукторов типов Б и В построены аналогично.

После построения отдельных подпроцессов выстраиваются взаимосвязи между ними (Рисунок 5).

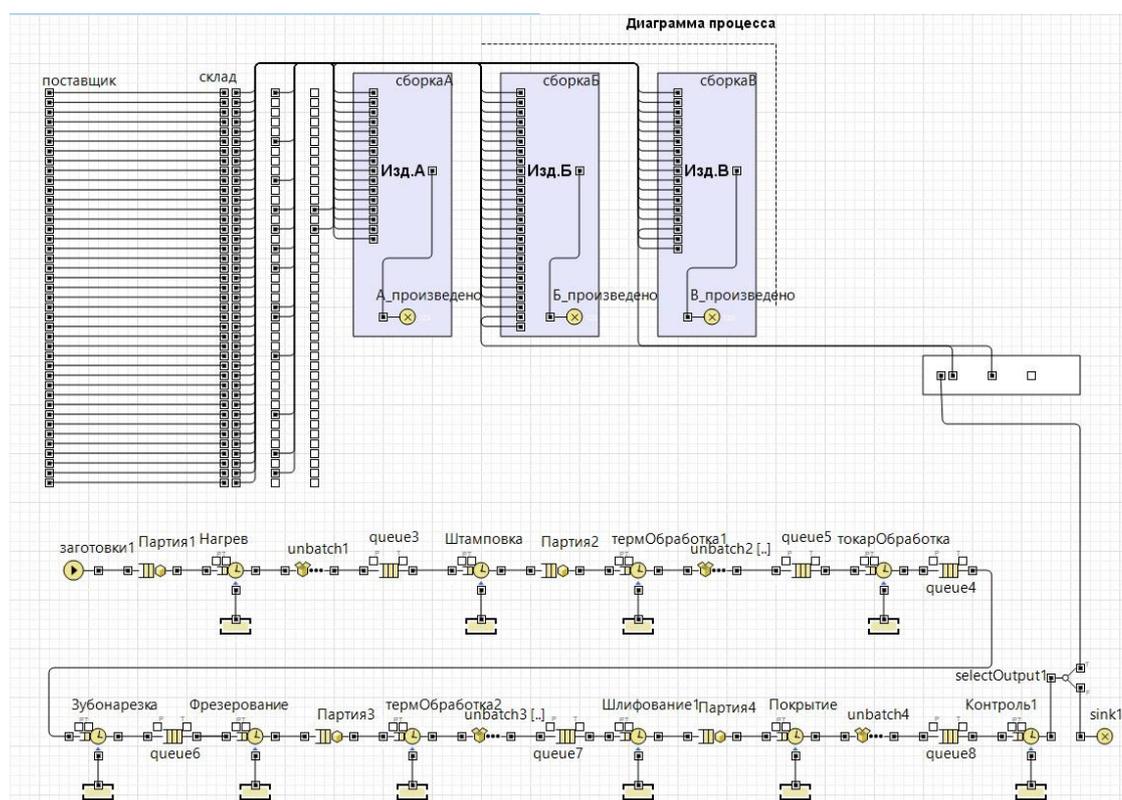


Рисунок 5. Имитационная модель производственного процесса

В целях оценки достоверности результатов, получаемых в разработанной имитационной модели, проведена верификация. Определён максимально возможный объем производства редукторов одного типа для первого месяца функционирования предприятия при наличии трех сборочных постов. Разработанная имитационная модель показала, что за заданный период времени возможно производство 1660 шт. редукторов типа А при условии отсутствия возможных конфликтов со стороны редукторов типа Б и В, а также при наличии всей необходимой комплектации на складе. Для проверки адекватности полученных данных рассчитано время, необходимое на производство 1660 шт. редукторов типа А, отклонение составило 26,6 мин. И вызвано вероятностным подходом распределения времени, заданным в разработанной имитационной модели. Данное отклонение не является критичным, что подтверждает достоверность результатов имитационной модели.

Дополнительно добавлены условия по возможным возникающим конфликтам на рабочих местах и задержкам поставок комплектации, что позволило реализовать особенности имитационного моделирования, отличающие его от стандартных инструментов, используемых для планирования процессов подготовки производства.

Подробно рассмотрена ситуация, при которой в механо-сборочный цех поступили заказы на 321 редуктор типа А, 377 редукторов типа Б и 391 редуктор типа В. Расчетное время на выполнение установленного плана при

наличии трех сборочных постов составляет 11100 мин. В программе имитационного моделирования проведен эксперимент, в соответствии с которым требуется 11554,35 мин. Полученное отклонение объясняется затратами времени на ожидание комплектации и возможные конфликты при выборе очередного изделия, производимого на сборочном посту.

Разработанная имитационная модель в дальнейшем применяется для моделирования производственных процессов в машиностроении, основываясь на бережливом производстве, которое дает возможность рассмотреть процесс с позиций оптимизации. Для оптимизации параметров предприятия разработана критериальная система на базе принципов концепции бережливого производства. Для проверки эффективности критериального подхода применена построенная ранее имитационная модель.

Разрабатываемый критериальный подход базируется на системе выражений, определяющих взаимосвязь между производственными и технологическими параметрами процесса, готовой продукции и особенностями организации производства. Совмещение этих параметров приводит к получению единой системы, характеризующей производство. Для построения системы и взаимосвязей между всеми критериями необходимо создать имитационную модель, которая позволит визуализировать производственные процессы и получить численные значения критериальных выражений для различных вариантов значений входных параметров.

Однако следует отметить, что хотя в работе на основании представленных ниже критериальных выражений строятся и решаются оптимизационные модели, их решения следует считать рациональными, а не оптимальными, так как они не учитывают ряда важных параметров производства.

На основании требования по сокращению потерь от запасов разработан **первый критерий**. Он реализован в имитационной модели с помощью применения ПИ-регулятора.

Для определения размера страхового запаса используется формула:

$$Q_{\text{стр}} = d_{\text{max}} + (LT_{\text{max}} - LT_{\text{cp}}) \cdot d, \quad (1)$$

где d_{max} – максимальная потребность в деталях в рассматриваемом периоде (шт.);

d – средняя потребность в деталях в рассматриваемом периоде (шт.);

LT_{max} – максимальный срок исполнения заказа (дни);

LT_{cp} – средний срок исполнения заказа (дни).

Критериальное выражение, позволяющее управлять объемом запасов деталей на складе, выражено функцией:

$$Q \rightarrow Q_{\text{стр}}, \quad (2)$$

где для заданного расчетного периода:

$Q_{\text{стр}}$ – страховой запас деталей на складе (шт.),

Q – текущий остаток деталей на складе (шт.).

Математическая модель ПИ-регулятора представляет собой систему одного алгебраического и двух дифференциальных уравнений:

$$c = c_i + k_p \cdot (Q_{\text{стр}} - Q), \quad (3)$$

где c – входной поток поставляемых заготовок,
 c_i – интегральная составляющая входного потока,
 k_p – коэффициент при пропорциональной составляющей входного потока.

Первая интегральная составляющая входного потока для ПИ-регулятора задается формулой:

$$\frac{dc_i}{dt} = k_i \cdot (Q_{\text{стр}} - Q), \quad (4)$$

где k_i – коэффициент при интегральной составляющей входного потока.

Вторая интегральная составляющая определяется по формуле:

$$\frac{dQ}{dt} = \frac{1}{a} \cdot (k \cdot c - s - Q), \quad (5)$$

где a – коэффициент пропорциональности, определяемый параметрами объекта управления;

k – коэффициент усиления объекта по управлению;

s – выходной поток заготовок.

Для реализации критерия построена совмещенная имитационная модель, состоящая из модели системы массового обслуживания и модели системной динамики (Рисунок 6).

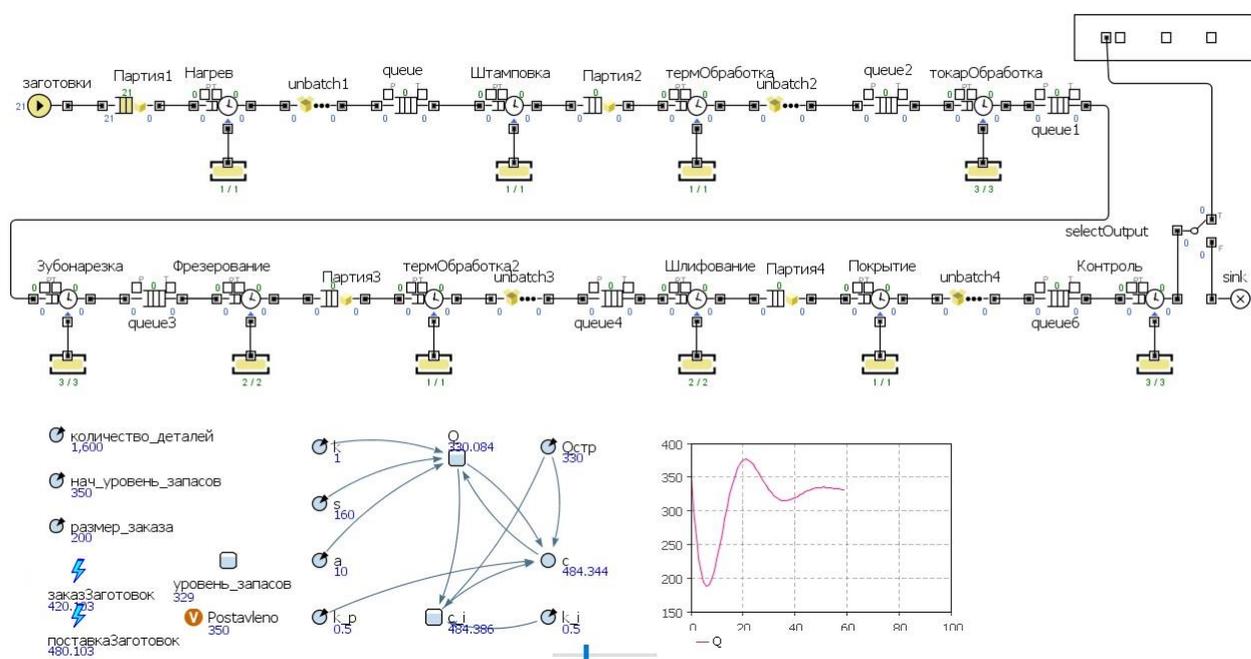


Рисунок 6. Совмещенная имитационная модель

При организации производства применение ПИ-регулятора наиболее эффективно в случае многократного изменения плана выпуска продукции и меньшим интервалом времени между поставками заготовок.

Второй критерий – это выражение, с помощью которого производится минимизация длительности ожидания продукции незавершенного производства перед очередным этапом. В системах массового обслуживания для расчета среднего времени пребывания заявки в системе применяют формулу Литтла:

$$T_{ож} = \frac{1}{\lambda} L \rightarrow \min, \quad (6)$$

где λ – интенсивность потока заявок-заготовок,
 L – среднее число заявок в системе.

Критерий реализован на базе ранее представленной имитационной модели машиностроительного предприятия и применяется для оптимизации узких мест производственного процесса. В частности в рассматриваемой задаче он позволил оптимизировать размер партии заготовок перед термообработкой и количество рабочих мест на этапе токарной обработки, что привело к сокращению длительности ожидания в 4 раза.

Основная задача, решаемая **третьим критерием** – повышение эффективности использования производственных мощностей на этапе сборки редукторов А, Б и В (Z). Критерий включает в себя взаимосвязи всех факторов цепочки производства и выражается функциями:

$$Z = \sum V_i \cdot K_{zi} \rightarrow \max, \quad (7)$$

$$K_{zi} \rightarrow \max, \quad (8)$$

где V_i – объем произведенной продукции i -го редуктора,
 K_{zi} - коэффициент загрузки оборудования.

Ограничения целевой функции получены на базе производственных параметров, установленных с помощью оптимизационного эксперимента имитационной модели построенного производственного процесса.

Первый и второй критерии в диссертационной работе направлены на оптимизацию процесса производства деталей. Третий критерий охватывает основное производство – сборку трех редукторов, и реализован с помощью проведения оптимизационного эксперимента на базе построенной имитационной модели и проведенной оптимизации по первым двум критериям. В рассматриваемой задаче он позволил повысить эффективность использования производственных мощностей на 22%.

Однако, как говорилось ранее, эффективность использования производственных мощностей зависит от большого количества факторов, часть из которых не учтена в модели, поэтому решения, полученные по целевому показателю Z , следует считать рациональными, а не оптимальными.

Третий критерий позволяет управлять эффективностью использования мощностей и может стать основой для системы принятия управленческих решений при организации производства.

Реализация критериального подхода привела к объединению дискретно-событийной модели, системной динамики и нескольких оптимизационных экспериментов, что позволило получить комбинированную имитационную модель, которая используется для повышения показателей производственных процессов машиностроительных предприятий.

В четвертой главе «Разработка элементов системы поддержки принятия управленческих решений» найдены решения эксперимента в широком диапазоне изменения производственных параметров в

машиностроении. Предложен план эксперимента, варьируемыми параметрами в котором являются количество сборочных постов и планы производства редукторов трёх типов (Таблица 1).

Таблица 1

Варьируемые параметры			
Параметр	Минимальное значение	Среднее значение	Максимальное значение
Количество сборочных постов (cRm), шт.	5	7	9
План производства редукторов типа А (планА), шт.	500	850	1200
План производства редукторов типа Б (планБ), шт.	700	1050	1400
План производства редукторов типа В (планВ), шт.	800	1200	1600

Для каждого варианта проведен оптимизационный эксперимент. Установлено, что результаты оптимизационных экспериментов для разных стадий производства значительно отличаются.

Дисперсионный анализ показал, что на начальной стадии, когда на складе еще не было запасов деталей собственного производства, наибольшее влияние оказывало количество сборочных постов и план производства редукторов типа А, в состав которых не входят шестерни, изготавливаемые на данном предприятии (Рисунок 7). В результате проведенного анализа выявлено, что до 9 эксперимента наиболее эффективно применение 5 рабочих мест, далее – наличие 7 рабочих мест (Рисунок 8).

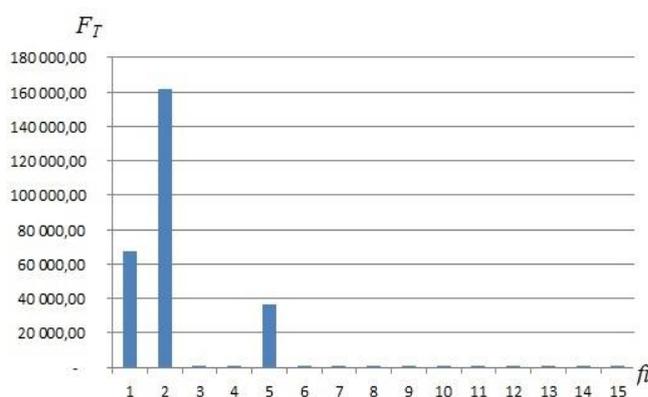


Рисунок 7. Дисперсионный анализ для начальной стадии

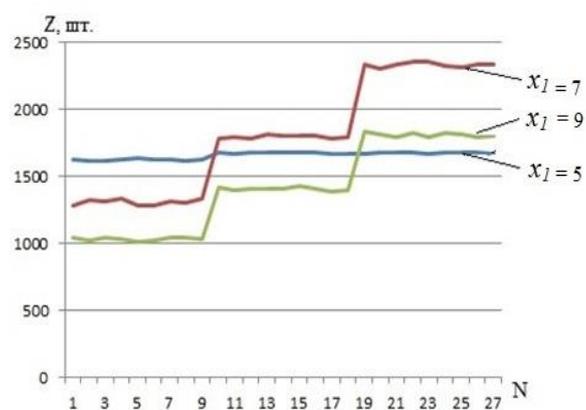


Рисунок 8. Эффективность использования производственных мощностей на начальной стадии

Проведен регрессионный анализ по центральному композиционному плану, с помощью которого получено уравнение для расчета рационального количества рабочих мест на начальной стадии производства.

Сравнение значений Z , полученных в результате имитационного моделирования и по расчету регрессионной зависимости показало, что отклонение значений минимально.

Далее, когда все комплектующие есть на складе и возможна сборка всех трех редукторов наибольшее влияние на целевую функцию оказывает количество рабочих мест. При этом изменился уровень влияния остальных факторов (Рисунок 9). Выявлены интервалы изменения производственных параметров, где наиболее эффективно применение 5, 7 или 9 рабочих мест (Рисунок 10).

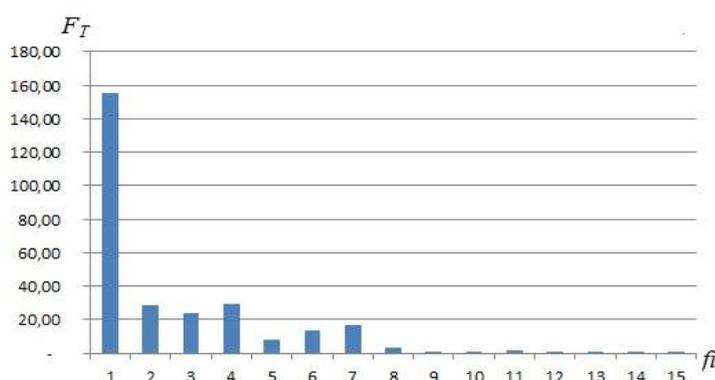


Рисунок 9. Дисперсионный анализ для основной стадии

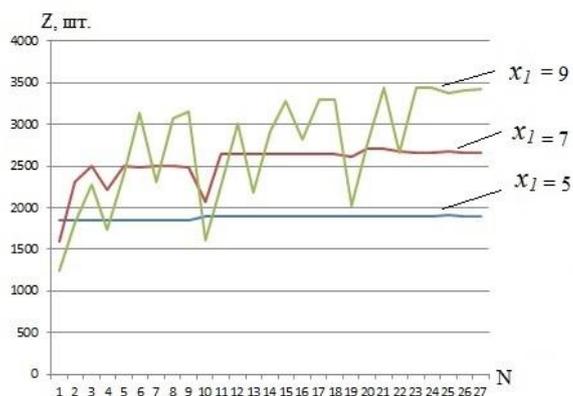


Рисунок 10. Эффективность использования производственных мощностей на основной стадии

Для основной стадии также получено уравнение регрессии с минимальным отклонением значений.

На основании полученных функциональных зависимостей разработан элемент автоматизированной системы принятия управленческих решений с помощью Excel (Рисунок 11).

Инструмент позволяет задать исходные значения и выбрать рассматриваемую стадию производства. Результатом работы инструмента является автоматизированный расчет значений рационального количества сборочных постов, эффективности их использования, потребного количества шестерней и размера страхового запаса заготовок для изготовления шестерней. Также в работе представлены рекомендации по его созданию.

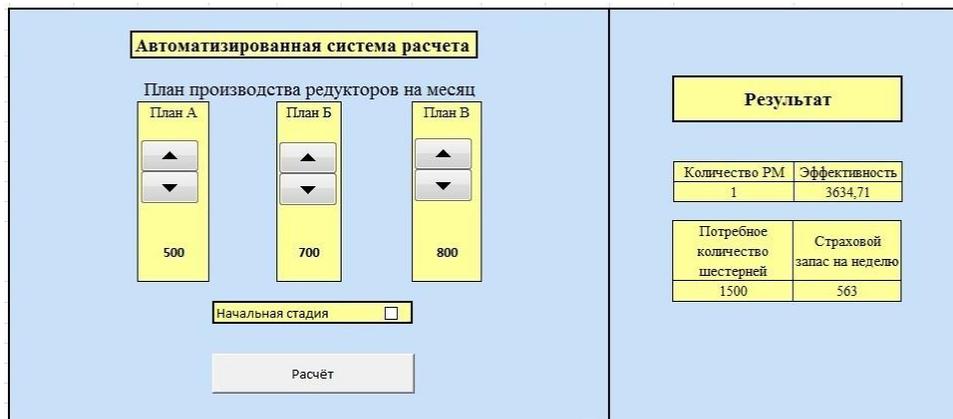


Рисунок 11. Интерфейс элемента автоматизированной системы принятия управленческих решений

Результаты работы внедрены в ООО «ПАКС» на этапе подготовки производства комплектующих для авиационной техники. В результате длительность производственного цикла сокращена в среднем на 20%, производительность сборочных постов увеличена на 22 %. Также результаты работы используются в учебном процессе «Московского авиационного института (национального исследовательского университета)» в курсах «Основы математического и имитационного моделирования» и «TSP-технологии».

ОСНОВНЫЕ РЕЗУЛЬТАТЫ ДИССЕРТАЦИОННОЙ РАБОТЫ

В ходе проведенного исследования получены следующие выводы и результаты:

1. В результате проведенного анализа литературы выявлено, что все существующие инструменты планирования производства и системы поддержки принятия управленческих решений успешно реализуются на уже функционирующих предприятиях. При этом определено, что они не могут быть использованы на этапе подготовки производства, т.к. предприятие не обладает необходимыми статистическими данными. Предложено использовать комбинированное имитационное моделирование для планирования процессов подготовки производства.

2. Построена функциональная модель производственного процесса с помощью метода IDEF0. При построении модели выделены отдельные подпроцессы и изучена их структура. На основе построенной функциональной модели разработана многоуровневая имитационная модель производственного процесса, в которой комбинируются различные подходы и эксперименты.

3. Обоснована система критериальных выражений на основе бережливого производства, устанавливающая взаимосвязь между параметрами производственного процесса. Для реализации критериального подхода проведена комбинация подходов в построенной имитационной модели.

3.1 Первый критерий - выражение, позволяющее сократить потери от излишнего объема запасов деталей на складе. Впервые для решения задачи управления ресурсами машиностроительного предприятия предложено

применить ПИ-регулятор. Для реализации критерия в построенную дискретно-событийную модель внедрены элементы динамического моделирования процессом управления. Наибольшую эффективность применение ПИ-регулятора достигает в случае многократного изменения плана выпуска продукции.

3.2 Второй критерий направлен на минимизацию времени ожидания продукции незавершенного производства. Для его реализации проведен статистический анализ «узкого места» процесса, определена длительность ожидания заготовкой очередного этапа. Построен оптимизационный эксперимент с функцией поиска оптимального размера партии заготовок и количества рабочих мест, с помощью чего максимальная длительность ожидания заготовок сократилась в 4 раза.

3.3 После оптимизации процесса по первым двум критериям проведен эксперимент поиска рационального количества рабочих мест на производстве по третьему критерию в программе имитационного моделирования. Критерий направлен на повышение эффективности использования производственных мощностей на основном производстве. В рассматриваемой задаче показатель эффективности производственных мощностей повысился на 22% по сравнению с полученным значением при наличии трех рабочих мест. Отмечено, что решения следует считать рациональными, а не оптимальными, так как они не учитывают ряд важных параметров производства.

4. Разработан элемент системы поддержки принятия управленческих решений с помощью MS Excel на основе комбинированного имитационного моделирования и концепции бережливого производства. Результатом работы системы является автоматический расчет значений рационального количества рабочих мест, эффективности их использования, потребного количества изделий собственного производства и размера страхового запаса заготовок для изготовления этих изделий. Рекомендации, применяемые при создании инструмента, являются универсальными и могут быть использованы для различных типов производства.

5. Разработанные в результате проведенного исследования модели и инструменты использованы в ООО «ПАКС» при проектировании производственных процессов сборки комплектующих для авиационной техники. В результате длительность производственного цикла сокращена в среднем на 20%, производительность сборочных постов увеличена на 22%. Также результаты работы внедрены в учебный процесс МАИ в курсы «Основы математического и имитационного моделирования» и «TSP-технологии».

ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ

Научные статьи в изданиях, рекомендованных ВАК РФ:

1. Кузина С.М., Галкин В.И. Разработка модели определения оптимального количества оборудования на производстве // Вестник Московского авиационного института. 2016. Т. 23, №4. С. 204-210. (0,82 п.л./ 0,53 п.л.)

2. Кузина С.М., Галкин В.И. Построение имитационных многоуровневых моделей сложных производственных процессов // Технология машиностроения. 2016. №11. С.53-58. (0,7п.л./0,5 п.л.)

3. Кузина С.М., Галкин В.И., Галкин Е.В. Системно-динамический подход к управлению ресурсами в дискретно-событийной имитационной модели производственного процесса // Экономика и управление в машиностроении. 2018. № 1. С. 4-9. (0,7 п.л. / 0,5 п.л.)

Другие научные работы:

4. Барт С.М. (Кузина С.М), Вейнгерова Е.Д. Преимущества внедрения CAD/CAM/CAE/PDM – систем на современном производстве // XXXVIII молодежная научная конференция «Гагаринские чтения». М., 2012. Т.4. С. 105 – 106. (0,12 п.л. / 0,08 п.л.)

5. Барт С.М. (Кузина С.М), Вейнгерова Е.Д. Использование Teamcenter в машиностроении // Десятая Всероссийская научно-практическая конференция «Применение ИПИ – технологий в производстве» Труды конференции. М., 2012. С. 94 – 95. (0,12 п.л. /0,08 п.л.)

6. Барт С.М. (Кузина С.М), Галкин В.И. Обзор рынка PLM-систем // Одиннадцатая Всероссийская научно-практическая конференция «Применение ИПИ – технологий в производстве» Труды конференции. М., 2013. С. 121-122. (0,12 п.л./ 0,07п.л.)

7. Кузина С.М., Галкин В.И. Имитационное моделирование как инструмент определения оптимального количества ресурсов // XLII молодежная научная конференция «Гагаринские чтения». М., 2016. Т.3. С. 521-522 (0,12 п.л./ 0,08п.л.)

8. Кузина С.М., Галкин В.И. Применение системы динамического управления ресурсами в имитационном моделировании // XLIII молодежная научная конференция «Гагаринские чтения». М., 2017. С.469-470. (0,12 п.л./ 0,08 п.л.)

9. Кузина С.М., Галкин В.И. Построение имитационной модели с инструментом динамического управления // Избранные научные труды Шестнадцатой Международной научно-практической конференции. М., 2017. С. 141-145. (0,29 п.л./ 0,19 п.л.)

10. Кузина С.М., Галкин В.И. Разработка критериального подхода на принципах бережливого производства для построения имитационных моделей производственных процессов // XLIV молодежная научная конференция «Гагаринские чтения». М., 2018. Т.3. С. 274-275. (0,12 п.л./ 0,08 п.л.)