

На правах рукописи

A handwritten signature in blue ink, consisting of a large, stylized initial 'Л' followed by a series of connected loops and a long horizontal stroke.

**Масленникова Юлия Леонидовна**

**РАЗРАБОТКА  
ИНСТРУМЕНТОВ ПОДДЕРЖКИ ПРИНЯТИЯ РЕШЕНИЙ ПРИ  
ОПЕРАТИВНОМ ПЛАНИРОВАНИИ ОПЫТНОГО ПРОИЗВОДСТВА**

05.02.22 – Организация производства (машиностроение)

**АВТОРЕФЕРАТ**  
диссертации на соискание ученой степени  
кандидата технических наук

Москва – 2022

Работа выполнена в федеральном государственном бюджетном образовательном учреждении высшего образования «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана (национальный исследовательский университет)» (МГТУ им. Н.Э. Баумана)

Научный руководитель:

**Бром Алла Ефимовна**

Доктор технических наук, профессор

Официальные оппоненты:

**Баркалов Сергей Алексеевич**

Доктор технических наук, профессор

ФГБОУ ВО «Воронежский государственный технический университет», декан факультета экономики, менеджмента и информационных технологий

**Бабушкин Виталий Михайлович**

Доктор технических наук, доцент

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им. А.Н. Туполева-КАИ», заведующий кафедрой динамики процессов и управления

Ведущая организация:

Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Московский государственный технологический университет «СТАНКИН»

Защита состоится « \_\_\_\_ » сентября 2022 года в \_\_\_\_ часов на заседании диссертационного совета Д 212.141.23 в Московском государственном техническом университете имени Н.Э. Баумана по адресу: 105005, г. Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, ауд. \_\_\_\_

Ваш отзыв на автореферат в двух экземплярах, заверенный печатью, просим выслать по адресу: 105005, г. Москва, 2-ая Бауманская ул., д. 5, стр. 1.

С диссертацией можно ознакомиться в библиотеке МГТУ им. Н.Э. Баумана и на сайте [www.bmstu.ru](http://www.bmstu.ru).

Автореферат разослан « \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2022 г.

Ученый секретарь

диссертационного совета, к.т.н.,  
доцент

Постникова Елена Сергеевна

## ОБЩАЯ ХАРАКТЕРИСТИКА РАБОТЫ

**Актуальность темы исследования.** Государственные программы развития промышленности нацелены на обеспечение ускорения темпов научно-технического прогресса за счет производства наукоемкой продукции и внедрения прорывных промышленных технологий. Достижение таких целей предполагает создание опытных образцов, подтверждающих готовность функциональных свойств изделий, конструкторских и технологических решений к серийной реализации. Базой разработки и производства техники такого рода является опытное производство (ОП). Особую актуальность имеет решение задач по сокращению длительности выполнения производственных заказов ОП с целью обеспечения ускоренного темпа роста промышленного производства.

ОП обладает своей спецификой, которая выражается в появлении дополнительных производственных операций по доработке конструкций и технологий изготовления опытных образцов, что обуславливает возникновение внеплановых производственных заказов. Высокий приоритет выполнения внеплановых заказов может изменить структуру оперативного плана и послужить причиной увеличения длительности выполнения плановых заказов, что приводит к срывам сроков перехода к серийному производству или сдачи конечному потребителю. Стохастичный характер ОП обуславливает проблемы дискретной оценки длительности выполнения производственных заказов. Кроме того, изменения технологических маршрутов, вызванные приоритетным выполнением внеплановых заказов, приводят к появлению внутрипроизводственных издержек различного рода, что нарушает устойчивость производства в целом.

Таким образом, актуальной становится разработка инструментов, позволяющих оценить очередность запуска внеплановых заказов в производство, длительность выполнения производственных заказов и влияние выполнения приоритетных внеплановых заказов на устойчивость ОП.

**Степень разработанности темы исследования.** Современные отечественные и зарубежные теоретические и практические труды содержат разработки в исследуемой области. Научные основы исследования проблем опытного производства заложены в работах Дубровского К.И., Каракоца В.В., Тямшанского Н.Д., Шакина В.А. и др. Проблемы устойчивости производства исследовались в работах Омельченко И.Н., Чупрова С.В., Колобова А.А., и др. Исследованию проблем планирования, посвящены труды Ершовой И. В., Васильева В.А., Геворкян А.М., Хоботова Е.Н и др. Вопросам поддержки принятия управленческих решений посвящены труды Орлова А.И., Юн К., Цин-лай Хвонг и др. Научные и практические наработки, представленные в данных трудах, были использованы в диссертационном исследовании.

**Цель и задачи исследования.** Целью диссертации является разработка инструментов интервального планирования с учетом приоритетности выполнения внеплановых заказов, обеспечивающих эффективность производственных процессов опытного производства.

Для достижения поставленной цели в диссертационной работе решаются следующие **основные задачи**:

- анализ специфики опытного производства и методов оперативного планирования;
- разработка инструмента приоритезации выполнения внеплановых заказов на опытном производстве;
- обоснование подхода к оценке устойчивости опытного производства;
- разработка инструмента интервальной оценки длительности выполнения производственных заказов на опытном производстве;
- построение когнитивной модели на основе результатов апробации разработанных инструментов и обоснование рекомендаций по созданию центра управления заказами в организационной структуре машиностроительного предприятия.

**Соответствие паспорту научной специальности.** Область исследования соответствует пунктам 8 «Развитие теоретических основ и практических приложений организационно-технологической и организационно-экономической надежности производственных процессов. Оценка уровня надежности и устойчивости производства» и 11 «Разработка методов и средств планирования и управления производственными процессами и их результатами» паспорта специальности 05.02.22 – Организация производства (машиностроение).

#### **Научная новизна**

1. Разработан инструмент приоритезации внеплановых заказов на опытном производстве на основе использования многокритериального метода принятия решений, позволяющий оценить вариативность очередности выполнения внеплановых заказов исходя из разработанных критериев значимости; инструмент отличается от существующих учетом критериев, обусловленных срочностью, важностью, степенью готовности незавершенного производства, штрафными санкциями и репутационными потерями при невыполнении заказа в срок, наличием ресурсов.

2. Предложен подход к оценке устойчивости опытного производства на основе оценки количества перестановок технологических операций в оперативном плане при возникновении приоритетного внепланового заказа, учитывающий появление внутрипроизводственных издержек; отличие подхода от существующих заключается в оценке целесообразности изменения очередности выполнения заказов с учетом появления перестановок деталей операций и влияния соответствующих издержек на устойчивость ОП.

3. Разработан инструмент интервальной оценки длительности выполнения производственного заказа, основанный на стохастических оценках длительности технологических процессов; инструмент отличается от существующих представлением длительности выполнения производственного заказа в виде временного интервала с заданной вероятностью, что обеспечивает создание временного буфера для появления внепланового заказа.

4. Построена когнитивная модель, позволяющая исследовать влияния факторов внешней среды на длительность выполнения производственных заказов в долгосрочной перспективе для обоснования и поддержки принятия управленческих решений.

#### **Основные положения, выносимые на защиту**

- инструмент приоритезации внеплановых заказов на опытном производстве, обеспечивающий возможность использования критериев значимости заказов;

– подход к оценке устойчивости опытного производства, учитывающий организационные и экономические аспекты изменения последовательности выполнения заказов в оперативном плане;

– инструмент интервальной оценки длительности выполнения производственных заказов, учитывающий стохастичность длительности производственных процессов опытного производства;

– когнитивная модель для поддержки принятия управленческих решений по сокращению длительности выполнения заказа.

**Теоретическая значимость** обусловливается дальнейшим развитием методов оперативного планирования опытного производства в части разработки инструментов, учитывающих появление внеплановых производственных заказов и стохастичность длительности процессов производства.

**Практическая ценность** диссертационной работы состоит в возможности внедрения инструментов на всех промышленных предприятиях, осуществляющих деятельность по разработке, производству и испытанию опытных образцов или опытных серий продукции, что обеспечит эффективность и устойчивость производственной деятельности.

**Методология и методы исследования.** Теоретическую и методологическую базу составили теория случайных процессов, теория вероятности, теория принятия решений и методы системной динамики. Информационно-эмпирическую основу составили нормативно-правовые акты, аналитические отчеты, работы отечественных и зарубежных авторов, научные статьи и тезисы докладов автора, выполненные в процессе работы над диссертационным исследованием.

**Обоснованность и достоверность** результатов и выводов диссертационного исследования обусловлены качественным выбором информационной базы и заключениями практической реализации.

**Апробация результатов исследования.** Основные положения и выводы диссертации доложены и получили положительную оценку на международных и всероссийских научно-практических конференциях [9-19]. Теоретические и методические положения работы использованы в учебном процессе на кафедре «Промышленная логистика» МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2022 г. Практические положения диссертации реализованы в ФГУП «НАМИ», 2022 г. и АО НПО «Базальт», 2022 г. Апробация и реализация результатов диссертационной работы подтверждены соответствующими актами внедрения.

**Публикации.** По теме диссертации опубликовано 19 научных работ, из них 8 статей в рецензируемых изданиях, рекомендованных ВАК при Минобрнауки России [1-8], 7 статей в сборниках конференций [9-15] и 4 статьи в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования SCOPUS [16-19].

**Структура и содержание работы.** Диссертация изложена на 142 страницах и состоит из введения, трех глав, заключения, списка литературы из 138 наименований и одного приложения, содержит 28 таблиц и 39 рисунков.

## **ОСНОВНОЕ СОДЕРЖАНИЕ РАБОТЫ**

**В первой главе** выполнен анализ специфики ОП, основ оперативного планирования, существующих методов и инструментов в данной области исследования.

Поставлена научная задача исследования.

Под ОП в диссертации понимается разновидность единичного типа позаказного производства, направленное на проведение исследовательских работ и последующую разработку, проектирование, производство и испытания новых образцов продукции и технологий, доведение оригинальных опытных образцов до промышленной серии, разработку технологической или конструкторской документации с целью развития промышленности и обеспечения научно-технического прогресса.

Под заказом понимаются работы, выполняемые на ОП по контракту с государственными ведомствами, серийными, торговыми, эксплуатирующими предприятиями или по заявкам внутренних подразделений промышленного предприятия ОП.

Анализ специфики ОП показал, что работа над заказом соотносится с возможностью смены технического задания на разных этапах изготовления изделия. В связи с неповторяемостью производимой продукции возможны ошибки проектирования. Отработка конструкций подразумевает частую смену конструкторской документации и технологического маршрута. Из-за недостатка или неточностей научных исследований возможна задержка конструкторской документации. В связи с недоработкой конструкции/технологии, со сложностью освоения новых работ на рабочих местах могут обнаружиться дефекты по окончании производственного цикла. Уникальность технологий может вызвать необеспеченность рабочих мест технологической оснасткой.

Все вышеперечисленное, а также отсутствие необходимых специальных комплектующих на рынке, срывы поставок, потеря информации между цехами и подразделениями обуславливают возвратный вид движения предметов труда и последующее появление внеплановых производственных заказов (см. Рисунок 1).

Под внеплановым производственным заказом понимаются работы по производству деталей, комплектующих, узлов, сборке опытного образца, возникающие на ОП вследствие возвратного движения. Появление внеплановых заказов приводит к возможным изменениям последовательности и случайному характеру длительности выполнения заказов, что в целом ведет к нарушению устойчивости ОП.

Анализ существующих методов оперативного планирования показал, что большинство методов оценки длительности выполнения заказов не учитывают колебания длительности частных процессов, большие риски их невыполнения, оперируя точным составом и длительностями операций. При анализе вероятностных методов были выявлены следующие недостатки: происходит оперирование одним видом распределения, что не отражает разнообразность процессов ОП, длительности выполнения заказов представляются в виде дискретных оценок средних продолжительностей. Более того, при регистрации заказа на производстве, внеплановый заказ обладает единственным критерием срочности, а подходы к оценке устойчивости не предусматривают возможные изменения оперативно-производственного плана.

Это обуславливает необходимость разработки инструментов, учитывающих стохастичность длительности производственных процессов и влияние приоритета запуска внеплановых заказов в производство на устойчивость ОП.

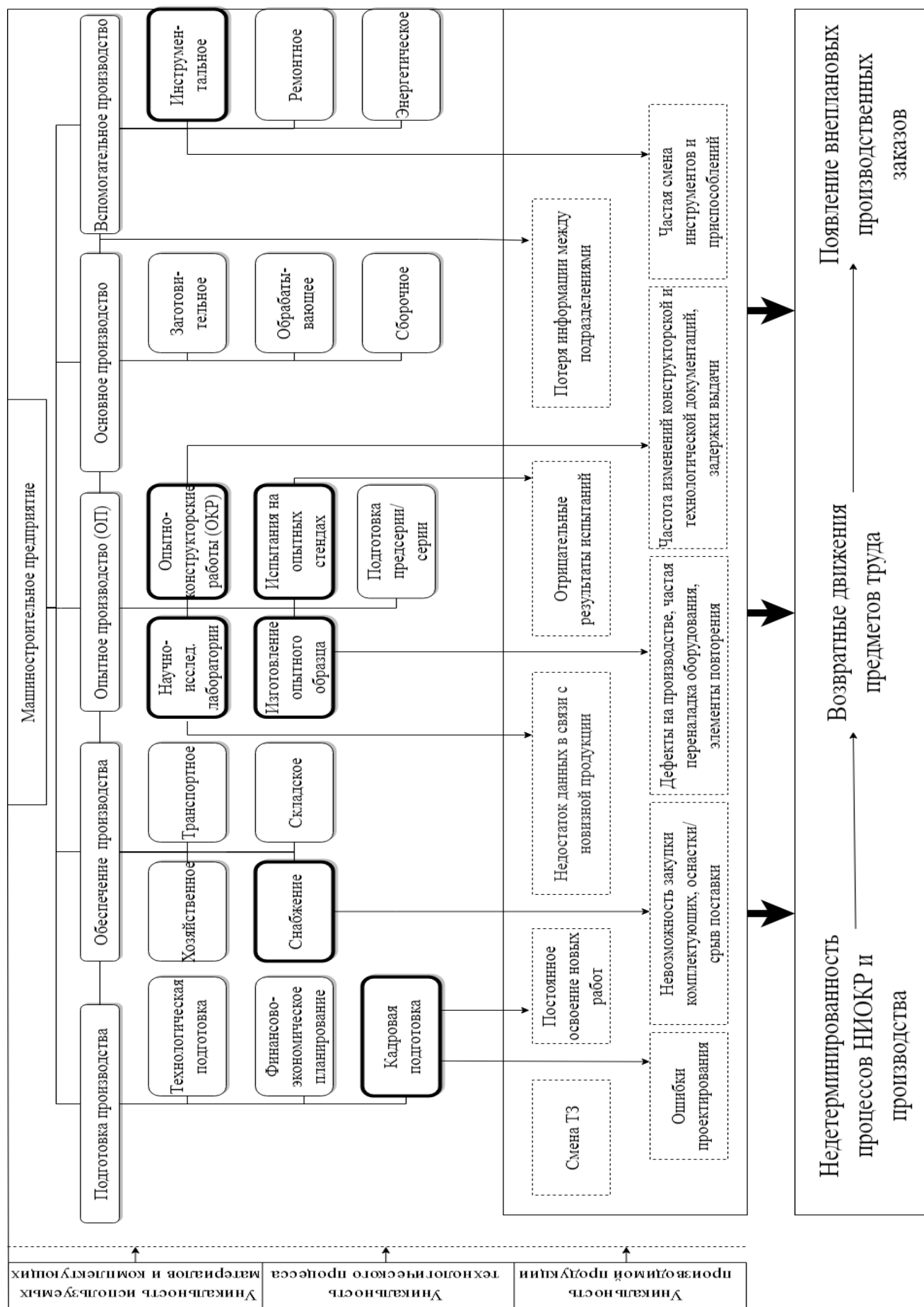


Рисунок 1 – Причины появления внеплановых заказов, обусловленные спецификой ОП

**Во второй главе** разработаны инструменты приоритезации внепланового заказа, интервальной оценки длительности выполнения заказов, предложен подход к оценке устойчивости ОП.

При появлении внепланового заказа на ОП встает вопрос назначения приоритета выполнения такого рода заказов: выполнять их в плановой очередности, либо вне установленного плана. На практике изделия запускаются в производство в том же порядке, в котором регистрируются на обработку. Встречаются ситуации, когда приоритет внепланового заказа назначается исходя из единственного критерия срочности, либо из двух взвешенных критериев: срочности и цены изделия/издержек пролеживания.

В диссертации разработан инструмент, позволяющий оценить приоритет, учитывая расширенный набор критериев с учетом специфики ОП, что характеризует его комплексный характер. Приоритет запуска внепланового заказа в производство оценивается с использованием многокритериального метода принятия решений TOPSIS. Критерии значимости заказа для ОП представлены в Таблице 1.

Таблица 1 – Критерии значимости заказа для ОП

Критерии значимости заказа для ОП	Высший балл (8-10)	Низший балл (1-3)
Срочность (запас времени до сдачи клиенту)	Срок изготовления по контракту близится к концу	Высокий запас времени ожидания
Важность	Спецзаказ/Госзаказ/Инозаказчик	Стандартный/Внутренний заказ
Степень готовности незавершенного производства	Утвержденный прототип	Первичный цикл обработки
Размер штрафных санкций в случае срыва сроков поставки	Существенные издержки	Отсутствие штрафных санкций
Репутационные потери в случае срыва сроков поставки	Существенные издержки	Несущественные издержки
Наличие ресурсов для выполнения заказа	В наличии	Ожидание поставки ресурсов

Если значения внепланового заказа наиболее приближены к вектору максимальных значений взвешенных оценок критериев, он выполняется вне очереди, вне зависимости от плановых заданий, то есть ему присваивается абсолютный приоритет. Относительным приоритетом обладает заказ, имеющий более низкий приоритет, чем абсолютный, но более высокий, чем плановый заказ. При минимальной относительной близости к идеально-позитивному решению внеплановый производственный заказ обрабатывается в плановой очередности.

Оперативный план, в котором рассчитывается и утверждается очередность выполнения операций по оборудованию с учетом имеющегося рабочего персонала,



должен обеспечивать выполнение заказов в заданной последовательности и в соответствии с плановыми экономическими показателями. Изменение очередности выполнения операций на каком-либо участке, обусловленное появлением приоритетного внепланового заказа, приводит к нарушению производственной структуры и большим внутрипроизводственным издержкам. Из этого следует, что изменения последовательности выполнения заказов нарушают устойчивость ОП.

Под устойчивостью ОП в работе понимается способность выполнения производственных заказов на базе производственной структуры в соответствии с требованиями заказчика при различных возмущающих воздействиях.

В диссертационном исследовании предложен показатель устойчивости ОП, отражающий состав оборудования, набор и последовательность выполнения технологических операций, чувствительность исходного плана к появлению издержек, вызванных появлением внеплановых заказов:

$$U_{\text{ст}} = \sum_{j=1}^L \sum_{k=1}^{K_j} \alpha_k^j \beta_k^j = 0,$$

где  $L$  – количество оборудования, участвующее в оперативно-производственном плане ( $j = 1, \dots, L$ );

$K_j$  – число различных операций, выполняемых на  $j$ -ом оборудовании в исходном производственном плане ( $k = 1, \dots, K_j$ );

$\alpha_k^j$  – количество перестановок на  $j$ -ом оборудовании по выполнению  $k$ -ой операции (вариации исходного технологического маршрута), возникающие по причине изменения приоритетности выполнения заказов.

$\beta_k^j$  – весовой коэффициент одной перестановки по  $k$ -ой операции  $j$ -го оборудования, отражающий появление издержек.

$U_{\text{ст}} = 0$ , если оперативный план не чувствителен к появлению перестановок, вызывающих издержки в силу небольшой длительности и идентичности операций.

Специфика ОП обуславливает превалирующее использование универсального оборудования, что приводит к появлению минимальных издержек при приоритетном выполнении внепланового заказа, связанных с переналадкой, но при этом возрастает незавершенное производство плановых заказов. Однако, широкая номенклатура и сложность производимых изделий требует использования специальных приспособлений и оборудования, что вызывает рост количества вариаций технологических маршрутов, приводя к значительным внутрипроизводственным издержкам. В диссертации под перестановкой понимается замена используемого инструмента на одном виде оборудования (изменение операции), либо изменение вида оборудования в связи со сменой маршрутной карты технологического процесса (изменение операции и вида оборудования).

Внутрипроизводственные издержки (потери), связанные с появлением внеплановых производственных заказов структурированы в Таблице 2. Для интерпретации значения показателя устойчивости, на конкретном предприятии разрабатывается шкала, пределы которой зависят от сложности технологических маршрутов, количества деталей операций, что связано с конструктивными особенностями выполняемых заказов.

Таблица 2 – Внутрипроизводственные издержки, связанные с обработкой приоритетных внеплановых заказов

Виды издержек	Характеристики
Издержки связанные с переналадкой оборудования	Оплата труда наладчика за время переналадки
	Непроизводительный расход энергоресурсов
Дополнительные трудозатраты на подготовительно-заключительные работы	Оплата труда рабочего
Издержки, связанные с простоем оборудования	Оплата труда персонала за время простоя
	Расходы на техническое обслуживание простаивающего исправного оборудования;
	Расходы на запуск производства после простоя (прогрев, очистка, охлаждение и др.)
Дополнительные перемещения сотрудников между производственными участками и цехами	Потери рабочего времени
Увеличение длительности смены, дополнительная смена, дополнительное количество сотрудников	Оплата труда персонала
Перерасход сырья и комплектующих на внеплановый заказ	Затраты на внеплановый заказ сырья и комплектующих
Пролеживание плановых заказов (незавершенное производство)	Расходы на хранение незавершённого производства
	Расходы на утилизацию в результате ухудшения свойств материалов вследствие их длительного хранения
Дополнительные перемещения материалов и заготовок между производственными участками и цехами	Затраты на транспортировку материалов и заготовок между производственными участками и цехами

Полученные интервалы значений показателя отражают ситуации несущественной, существенной и катастрофической неустойчивости. При попадании значений в зоны существенной и катастрофической неустойчивости, происходит сравнение рассчитанного показателя устойчивости при разной очередности выполнения внепланового заказа, позволяя выбрать приоритет с наименьшим значением показателя, что указывает на возникновение наименьшего количества внутрипроизводственных издержек.

Нарушение структуры ОП, связанное с изменениями очередности выполнения заказов, освоение новых работ, использование новых материалов обуславливают стохастичность характера производственного процесса ОП. В результате это приводит к проблеме дискретной оценки длительности технологических операций и полных сроков выполнения заказов.

В диссертации разработан инструмент, позволяющий оценить длительность

выполнения внепланового заказа в виде временного интервала с заданной вероятностью. Для получения оценки длительности одной операции вводятся следующие параметры:

$f_1, f_2, \dots, f_n$  – экспертные значения плотности распределения случайных величин (СВ), отражающие наиболее реалистичные длительности выполнения операции;

$C_1, C_2, \dots, C_n$  – веса экспертных данных.

Для оценки длительности процессов производства в диссертации предложено оперировать треугольным и трапециевидным распределениями.

Время выполнения одной операции рассматривается, как случайная величина со смешанным распределением:

$$f = \sum_{k=1}^n C_k f_k$$

Вероятность того, что случайная величина примет значение, лежащее в интервале (a, b):

$$P(a < X < b) = \int_a^b f(x) dx,$$

где  $a$  и  $b$  – искомые значения интервала длительности выполнения операции,  $P$  – функция распределения СВ. Тогда:

$$P(a < X < b) \geq \gamma,$$

где  $\gamma$  – заданный уровень доверия.

Для нахождения значений  $a, b$  приняты следующие уравнения:

$$\begin{cases} b - a \rightarrow \min \\ \int_a^b f(x) dx \geq \gamma \end{cases}$$

В случае, если по заказу дано неполное штучное время, оно принимается за ожидаемую оценку ( $t_e$ ). Оптимистичные и пессимистичные значения  $t_p$  и  $t_o$  рассчитываются следующим образом:

$$\begin{aligned} t_o &= t_e * (0,9 + \varepsilon) \\ t_p &= t_e * (1,2 + \varepsilon), \end{aligned}$$

где  $\varepsilon$  – случайная величина, равномерно распределенная на интервале  $[-0.05, 0.05]$ . Оптимистическое время взято с коэффициентом 0,9, а пессимистическое с коэффициентом 1,2 в связи с учетом сложности процессов ОП.

С целью определения интервала длительности выполнения всего заказа происходит суммирование случайных величин каждой операции, интервал также будет удовлетворять заранее заданному уровню доверия  $\gamma$ . Для оценки суммы случайных величин используется центральная предельная теорема (ЦПТ).

Разработанный инструмент позволяет проводить предварительную оценку длительности плановых заказов для согласования с заказчиком. Для оценки интервальной длительности выполнения заказа разработано программное обеспечение на языке Python, представленное в Приложении А диссертационного исследования. В целях практического использования инструментов в реальных производственных условиях разработан алгоритм в пакете BPMN (см. Рисунок 2).

Полная версия алгоритма представлена в диссертации на Рисунке 2.18.

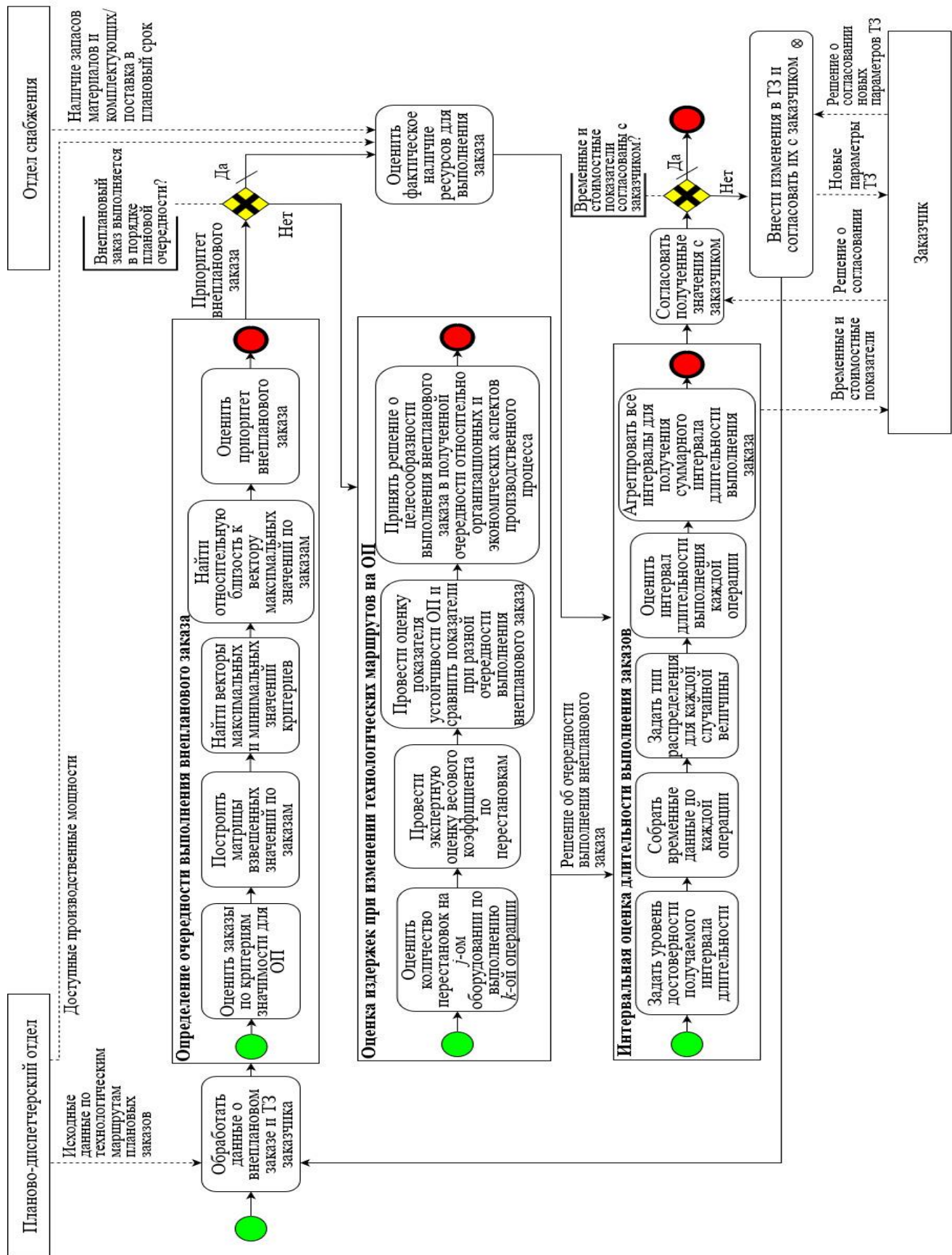


Рисунок 2 – Схема процессов внедрения инструментов поддержки принятия решений при оперативном планировании ОП

В третьей главе проведена апробация разработанных подхода и инструментов, построена когнитивная модель, проведена оценка эффекта от высвобождения оборотных средств незавершенного производства и предложено создание подразделения «Центр управления заказами» в организационной структуре ОП.

На производстве ФГУП «НАМИ» сформирован и находится в процессе реализации оперативно-производственный план по выполнению следующих заказов: заказ №1 – рама крепления кузова испытательного стенда, заказ №2 – корпус топливного бака, заказ №3 – рама автомобиля с агрегатами в сборе. После доработок конструкции появляется внеплановый производственный заказ – рама бокового прицепа мотоцикла «Кортеж». На основании оценок по критериям значимости оценена очередность выполнения внепланового заказа с помощью разработанного инструмента приоритезации (см. Таблицу 3).

Таблица 3 – Приоритетность выполнения производственных заказов

	Заказы			
	Внеплановый заказ	Заказ № 1	Заказ № 2	Заказ № 3
P+	0,521	0,729	0,464	0,075
Приоритет	2	1	3	4

Внеплановый заказ обладает относительным приоритетом над заказом №2 и выполняется во вторую очередь после выполнения планового заказа №1. Операции и их последовательность, а также неполное штучное время по каждому заказу представлены в диссертации в Таблице 16. В новом оперативном плане происходит одновременное изменение технологических операций и оборудования, добавляются 2 новые технологические операции, вследствие чего суммарное число перестановок по технологическому маршруту  $\sum_{j=1}^{12} \sum_{k=1}^{12} \alpha = 12$ .

На основе оценки внутрипроизводственных издержек по перестановкам, получен показатель устойчивости  $U_{ст} = 4,65$ . Значение показателя устойчивости находится между интервалами, характеризующими несущественную и существенную меры неустойчивости, поэтому происходит сравнение показателей устойчивости при разной очередности выполнения внепланового заказа (см. Таблицу 4).

Таблица 4 – Показатель устойчивости при разной очередности выполнения внепланового заказа с относительным приоритетом

Номер очереди выполнения внепланового заказа	1	2	3	4
Показатель устойчивости $U_{ст}$	6,8	4,65	5,65	0

Если бы внеплановый заказ получил абсолютный приоритет, он бы выполнялся в первую очередь вне зависимости от рассчитанного показателя  $U_{ст} = 6,8$ . Для внепланового заказа с относительным приоритетом происходит выбор очередности с наименьшим показателем устойчивости  $U_{ст} = 4,65$ . Таким образом, учитывая критерии значимости заказа для ОП, выполнение внепланового заказа наиболее целесообразно во вторую очередность относительно организационных и экономических аспектов.

Для оценки длительности выполнения заказа используется треугольное распределение. Временные данные по заказу состоят из трех случайных величин, включая неполное штучное время, оптимистическое и пессимистическое время. С заданным уровнем доверия  $\gamma = 0,8$  получен суммарный интервал длительности выполнения производственного заказа (см. Рисунок 3).

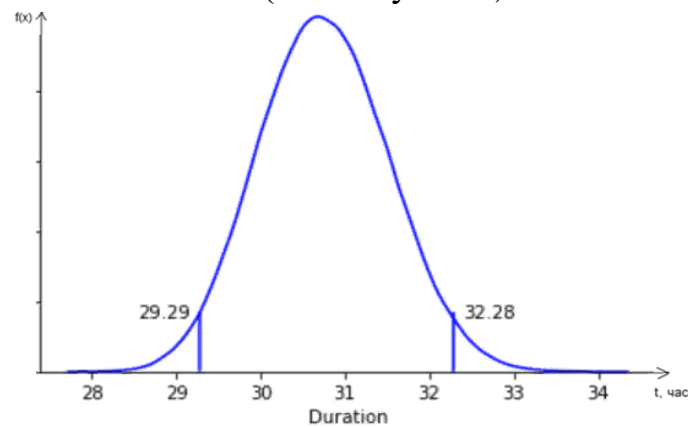


Рисунок 3 – Интервальная длительность выполнения внепланового заказа

Из графика видно, что внеплановый заказ с вероятностью 80% будет обрабатываться в интервале (30;33) часа. Интервальное представление длительности отражает неопределенность точных сроков выполнения заказа, что связано с возможностью появления возмущающих воздействий, продиктованных спецификой ОП. Но, полученный интервал длительности может быть неприемлем для заказчика, поэтому перед ОП ставится задача выполнения заказа в сроки, близкие к левой границе полученного интервала.

Для выявления управленческих воздействий, способных повлиять на длительность выполнения заказа в диссертации разработана когнитивная модель. В качестве примера выбран заказ «Рама автомобиля с агрегатами в сборе» и исследованы факторы и рычаги влияния, используя экспертные оценки. (см. Рисунок 4).



Рисунок 4 – Когнитивная модель изменения длительности выполнения заказов

В процессе моделирования были выявлены факторы-рычаги: рост срывов поставок сырья и комплектующих на 25% за последние периоды и рост количества высоко квалифицированного персонала на 10%. Но, инструмент интервального планирования компенсирует возможные срывы поставок, позволяя принять превентивные меры, обеспечивая снижение их количества на 15%. Результаты когнитивного моделирования показали, что при одновременном воздействии обоих факторов-рычагов к восьмому шагу моделирования контур стабилизируется, обеспечивая сокращение длительности выполнения заказа на 2,6 % (см. Рисунок 5).

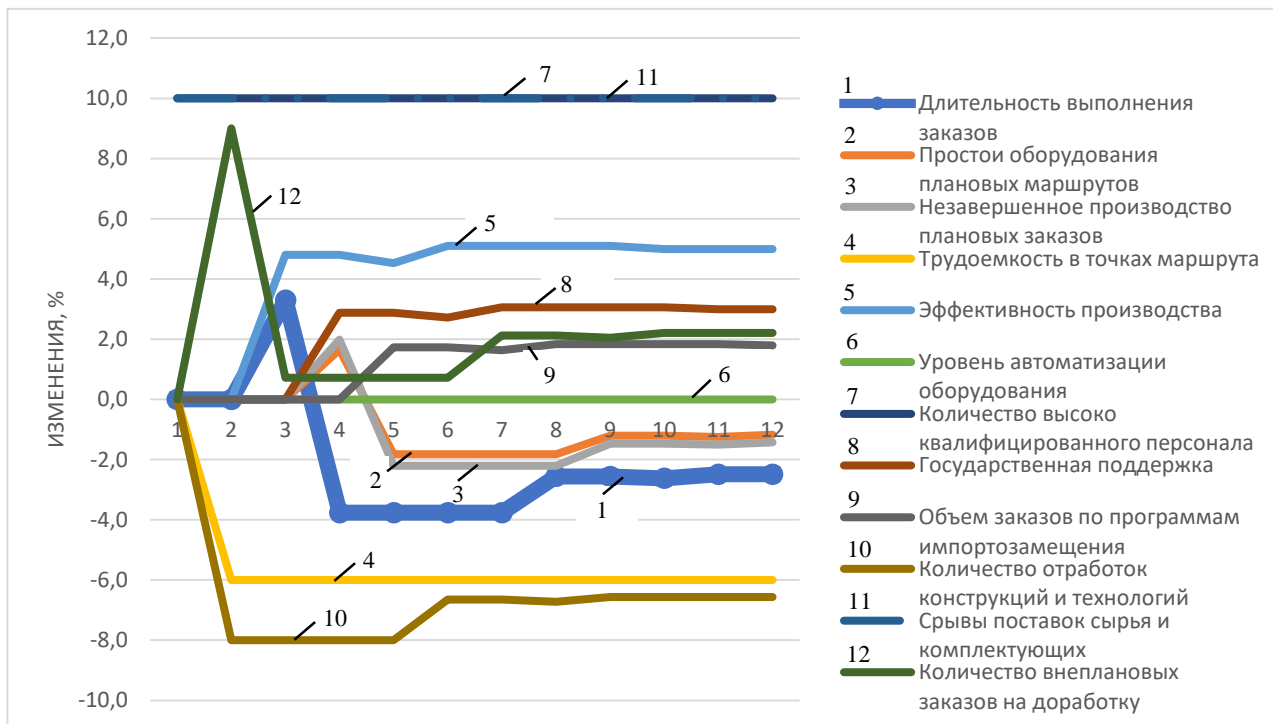


Рисунок 5 – Результаты когнитивного моделирования изменения длительности выполнения производственных заказов

Шаг моделирования приравняется к одному месяцу. Это означает, что при таком прогнозе развития ситуации, спустя 8 месяцев возможно смещение интервала длительности выполнения планового заказа на 2,6% по временной шкале влево при количестве срывов поставок в 10%, но с учетом увеличения на ОП квалифицированных кадров (см. Рисунок 6).

Обратной задачей когнитивного моделирования является нахождение направлений управленческих воздействий, способных привести к смещению пессимистичного значения длительности к левой границе оцененного интервала выполнения планового заказа, что составляет смещение на 7% (см. Рисунок 7). Результаты решения обратной задачи когнитивного моделирования показали необходимость роста числа высоко квалифицированного персонала на 15 % при срывах поставок сырья и комплектующих в 10%.

Анализ структуры когнитивной модели показал, что специфика ОП приводит к связыванию больших объемов оборотных средств в незавершенном производстве в связи с появлением внеплановых заказов, так как образуются большие заделы, причем на неопределенный срок.



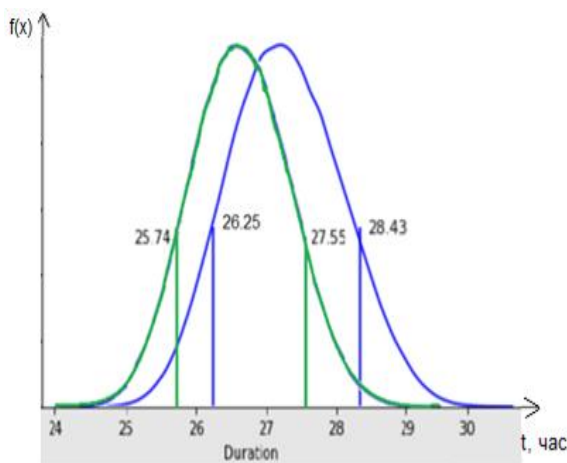


Рисунок 6 – Смещение интервала длительности выполнения заказа на 2,6%

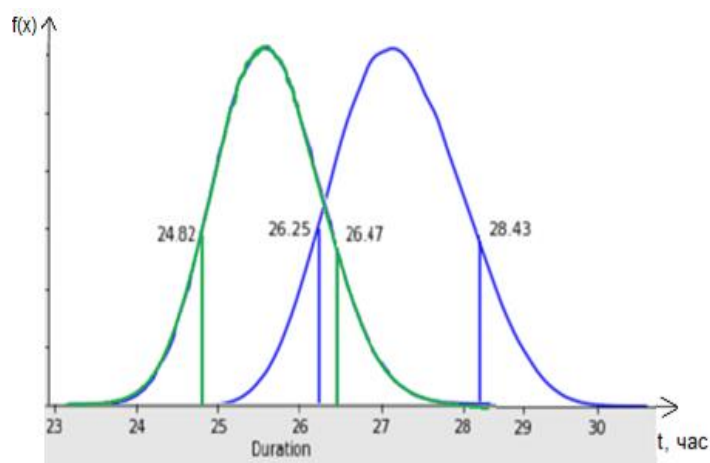


Рисунок 7 – Смещение интервала длительности выполнения заказа на 7%

В диссертации предложено оценивать эффект от высвобождения оборотных средств в условиях сокращения длительности выполнения заказа следующим образом:

$$\text{Эф}_{\text{обор}} = (T' - T'')SNK_{\text{нз}},$$

где  $T'$  и  $T''$  – длительности выполнения заказа до и после использования рычагов когнитивной модели;

$S$  – себестоимость изделия, руб.;

$N$  – количество изделий, шт.;

$K_{\text{нз}}$  – коэффициент нарастания затрат.

$$K_{\text{нз}} = (Se + 0,5Sp)/(Se + Sp),$$

где  $Se$  – затраты, производимые одновременно в начале процесса производства;

$Sp$  – последующие затраты до окончания производства.

При возможном смещении интервала длительности выполнения заказа «Рама автомобиля с агрегатами в сборе» на 2,6% влево, эффект от высвобождения оборотных средств в незавершенном производстве  $\text{Эф}_{\text{обор}} = 20\,880$ . Таким образом, сокращение длительности выполнения заказа на 2 часа приводит к высвобождению оборотных средств на 20 880 руб. Использование разработанных инструментов во ФГУП «НАМИ» привело к экономии оборотных средств в незавершенном производстве в среднем на 6%.

В диссертации также предложено сформировать дополнительное структурное подразделение – Центр управления заказами. Создание центра обеспечит усиление личной ответственности за контроль сроков выполнения задач в соответствии с разработанным планом и высокую степень координации отделов проектирования, производства, снабжения и испытаний.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ. ОСНОВНЫЕ ВЫВОДЫ И РЕЗУЛЬТАТЫ

1. Выполненный в диссертации анализ специфики ОП позволил выявить ключевые факторы, оказывающие влияние на появление внеплановых производственных заказов, обуславливающие стохастичность длительности выполнения



производственных заказов и нарушения устойчивости ОП.

2. Анализ существующих методов и инструментов оперативного планирования ОП показал необходимость разработки инструментов оценки приоритета выполнения внеплановых производственных заказов, устойчивости ОП и длительности выполнения производственных заказов.

3. Разработанные инструменты позволяют оценить целесообразность приоритетного запуска внепланового заказа в обработку относительно организационных и экономических аспектов с учетом критериев значимости заказа для ОП; оценить длительность заказов с учетом стохастичности производственных процессов ОП, обеспечивая создание временного буфера для возникновения и обработки внеплановых заказов, контроль выполнения операций в определенном временном диапазоне, координированную работу участка, цеха и межцеховое взаимодействие. Контроль хода производственных процессов в определенном временном диапазоне обеспечит выполнение заказа в сроки, прописанные в контракте об исполнении заказа, что позволит свести к минимуму вероятность возникновения штрафных санкций по неисполнению договорных обязательств.

4. Когнитивное моделирование позволило исследовать факторы, влияющие на длительность выполнения заказов и выявить направления управленческих воздействий для сокращения длительности выполнения заказов. Сокращение длительности выполнения заказа на 2,6% обусловило эффект от высвобождения оборотных средств, связанных в незавершенном производстве в среднем на 6%. Управление внеплановыми заказами, оценка тенденций изменения длительности выполнения заказов, предложение корректирующих и предупреждающих мероприятий по ликвидации несоответствий плану выделяются как основополагающие задачи специалистов предложенного структурного подразделения ОП – Центра управления заказами.

5. Апробация и внедрение разработанных инструментов показали свою прикладную значимость, а также перспективность использования на других промышленных предприятиях, имеющих в составе ОП.

## **ПУБЛИКАЦИИ ПО ТЕМЕ ДИССЕРТАЦИИ**

**Научные статьи в рецензируемых журналах,  
рекомендованных ВАК при Минобрнауки России (по специальности 05.02.22)**

1. Масленникова Ю.Л. Исследование и систематизация факторов развития цифровизации опытного производства // Наука и бизнес: пути развития. 2022. №1 (127) С. 58-61. (0,4 п.л.).

2. Бром А.Е., Масленникова Ю.Л. Оценка организационной устойчивости опытного производства с учетом приоритетности выполнения заказов // Автоматизация в промышленности. 2021. № 8. С. 39-42. (0,4 п.л./0,25 п.л.).

3. Бром А.Е., Масленникова Ю.Л., Михайлов Н.Э. Сравнение понятий автоматизации и цифровизации в промышленности // Автоматизация. Современные технологии. 2020. № 6(74). С. 282-288. (0,7 п.л./0,45 п.л.).

### **Научные статьи других журналах, рекомендованных ВАК**

4. Масленникова Ю.Л. Оценка уровня цифрового развития процессов проектирования и опытно-конструкторских работ предприятий опытного производства // Наука и бизнес: пути развития. 2021. №12 (126). С. 147-149. (0,23 п.л.).

5. Бром А.Е., Масленникова Ю.Л. Разработка подхода к оценке длительности выполнения заказа на опытном производстве // Инновации 2021. №5 (271) С. 2-6 (0,5 п.л./0,3 п.л.).

6. Масленникова Ю.Л. Экономические аспекты управления внеплановыми заказами опытного производства // Инновации в менеджменте. 2021. №4 (30). С. 30-35 (0,4 п.л.).

7. Масленникова Ю.Л. Принятие управленческих решений о развитии цифрового производства на основе когнитивного подхода // Международный научный журнал «Проблемы теории и практики управления». 2019. № 3-4. С. 83–88. (0,36 п.л.).

8. Масленникова Ю.Л. Показатели эффективности и результативности реализации стратегии компании в изменяющихся условиях внешней среды // Контроллинг. 2018. № 2(68). С. 16–20. (0,35 п.л.).

### **Публикации в других изданиях**

9. Масленникова Ю.Л. Инструмент оценки очередности выполнения внеплановых заказов на опытном производстве // Одиннадцатые Чарновские Чтения (Москва, 3 декабря 2021 г.): сб. трудов XI Всероссийской научной конференции по организации производства. Москва. 2022. С. 78-85. (0,3 п.л.).

10. Масленникова Ю.Л. Потери связанные со структурной неустойчивостью оперативного плана опытного производства. // Будущее машиностроения России (Москва, 21–24 сентября 2021): сб. трудов четырнадцатой всероссийской конференции молодых ученых и специалистов / М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2022. С. 378-381. (0,3 п.л.).

11. Масленникова Ю.Л. Проблемы автоматизации управления опытным производством // Системы управления полным жизненным циклом высокотехнологичной продукции в машиностроении: сб. трудов всеросс. конференции. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2021. С. 148-151. (0,25 п.л.).

12. Бром А.Е. Масленникова Ю.Л. Специфика оперативного планирования на опытном производстве // Глобализация экономики и российские производственные предприятия: сб. трудов 19 Национальной науч.-практ. Конф / Южно-Рос. гос. политехн. ун-т (НПИ) имени М.И. Платова. Новочеркасск: ЮРГПУ (НПИ). 2021. С. 18-24. (0,35 п.л./0,2 п.л.).

13. Бром А.Е. Масленникова Ю.Л. Умный завод: архитектура и функции // Сперанские чтения. Актуальные проблемы управления в условиях цифровой экономики России: сб. трудов всеросс. Конференции / М.: РГГУ. 2020. С. 59–68. (0,5 п.л./0,3 п.л.).

14. Масленникова Ю.Л. Проекты автоматизации и цифровой трансформации в реальных производственных условиях // Управление научно-техническими проектами: сб. трудов четвертой международной научно-технической конференции / М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана. 2020. С. 156-159. (0,3 п.л.).

15. Масленникова Ю.Л. Моделирование социально-экономических факторов развития цифровых технологий на наукоемких предприятиях [Электронный ресурс] // Ломоносов-2019: сб. трудов международного молодежного научного форума / М: МАКС Пресс, 2019. ISBN 978-5-317-06100-5. (0,2 п.л.).

16. Brom A., Omelchenko I., Maslennikova Y. Cognitive Modeling of Digital Production Factors // 2022 4th International Youth Conference on Radio Electronics, Electrical and Power Engineering (REEPE), 2022. P. 1-5, DOI: 10.1109/REEPE53907.2022.9731499. (0,6 п.л./0,3 п.л.).

17. Brom A.; Kutina N., Maslennikova Y. Improving the automated design efficiency: A case study // Lecture Notes in Networks and Systems (LNNS), Vol. 128, 2020. P. 397–402, DOI: 10.1007/978-3-030-46817-0\_45 (0,3 п.л./0,2 п.л.)

18. Maslennikova Y., Brom A. Development of a production structure based on digital capacity building // 8th International Conference on Control, Mechatronics and Automation, ICCMA, 2020. P. 38-41, DOI: 10.1109/ICCMA51325.2020.9301585. (0,5 п.л./0,3 п.л.)

19. Brom A., Maslennikova Y. Cognitive model of digital production development // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. DOI:10.1088/1757-899X/630/1/012011 (0,45 п.л./0,2 п.л.).