

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации  
Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный университет»

На правах рукописи



**КУЛЕШОВ Игорь Валерьевич**

**РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ И МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ  
ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЕМ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ**

2.3.1. Системный анализ, управление и обработка информации,  
статистика (технические науки)

Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук

Научный руководитель:

доктор технических наук, профессор

Пищухин Александр Михайлович

Оренбург - 2025

## ОГЛАВЛЕНИЕ

ВВЕДЕНИЕ.....	4
ГЛАВА 1 . СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА В ОБЛАСТИ СОЕДИНЕНИЙ ПРОЦЕССОВ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ.....	19
1.1 Современные производственные предприятия как многопроцессные системы.....	19
1.2 Механизмы соединения процессов в производственных многопроцессных системах.....	21
1.3 Управление соединением процессов в производственных многопроцессных системах.....	23
1.4 Проектный подход к управлению соединением процессов. ....	35
1.5 Вероятностное описание поведения многопроцессной системы.....	45
1.6 Цель и задачи исследования.....	46
ГЛАВА 2 . СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ СОЕДИНЕНИЕМ ПРОЦЕССОВ.....	48
2.1 Многоуровневая модель системы управления соединением процессов.....	48
2.2 Оптимальное управление согласованием процессов по вероятностному критерию .....	51
2.4 Методические аспекты соединения процессов.....	62
ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ .....	64
ГЛАВА 3 . МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ СОЕДИНЕНИЯ ПРОЦЕССОВ.....	66
3.1 Классификация процессов по их функциям.....	66
3.2 Механизмы соединения процессов .....	68
3.3 Метасистемная структура системы поддержки принятия решений по организации производства. ....	71
3.4 Управление организацией производства .....	73
ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ .....	78
ГЛАВА 4 . РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ .....	80
4.1 Стратифицированная модель строительного производства .....	80
4.2 Постановка и решение задачи оптимального расположения мест стоянок башенного крана.....	83

4.3 Оптимизация количества звеньев в строительной бригаде при панельном домостроении.....	91
4.4 Оптимальное управление заказом панелей .....	96
4.5 Программная реализация СППР с применением разработанных алгоритмов и методик.....	101
ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ .....	112
ЗАКЛЮЧЕНИЕ .....	114
СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ.....	116
Приложение А Листинг программы СППР .....	139
Приложение Б Акты о внедрении результатов диссертации.....	154
Приложение В Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ .....	160

## **ВВЕДЕНИЕ**

В диссертации рассматриваются вопросы оптимального согласования процессов при их соединении в строительном производстве.

### **Актуальность.**

В стратегии развития строительной отрасли и жилищно-коммунального хозяйства Российской Федерации на период до 2030 года главные задачи связаны с формированием высокотехнологичных и конкурентоспособных направлений, как основы для восстановления экономики.

Основополагающими принципами строительства являются индустриализация производства и масштабирование технологических процессов с целью повышения качества строительных конструкций и строительно-монтажных работ, а также уменьшения стоимости и сроков строительства объектов.

В связи с этим в современном строительстве наблюдаются тенденции преимущественного производства строительных конструкций и материалов в заводских условиях, а на стройплощадке, как правило, локализуются технологические процессы, перенос которых в заводские условия невозможен (монтаж, сборка, изоляционные и отделочные работы). При этом процессы разобщаются, а для создания сложного цельного продукта необходимо их соединить.

Объединение процессов обеспечивает возможность рассмотрения системы в целом (как многопроцессной) с целью выявления общей структуры и обеспечения эффективного функционирования. Такой подход имеет преимущества по сравнению с аналитическим подходом, при котором предполагается улучшение или оптимизация каждой технологической единицы по отдельности, преимущественно без учета взаимодействия между ними.

Поскольку в производственных многопроцессных системах составляющие технологические процессы обычно достаточно отработаны, «узким местом» остается их согласованное соединение.

Важность согласования процессов подчеркивает, например, японская



система КАНБАН, использующая философию «точно в срок». При этом, на главном конвейере собирается автомобиль, а параллельно протекает процесс сборки двигателя. К моменту, когда сборка автомобиля потребует установки двигателя он должен быть готов, проверен и доставлен. Любая задержка или опережение одного из процессов (сборки или изготовления двигателя) неминуемо ведет к потерям.

**Степень разработанности темы исследования.** Вопросами соединения процессов занимались как зарубежные ученые: Халлэйл Н., Касслер, Э.Л., Моггридж, Г.Д., Эль-Халваги, М. М., Кемп, И.К., Линнхофф, Б., Д. В. Таунсенд, Д. Боланд, Г. Ф. Хьюитт, Б.Э. А. Томас, А. Р. Гай и Р.Х. Марсленд, Шенной, У.В., так и отечественные: Аверьянов О.И., Васильев В.Н., Потехин И.П., Судов, М.А. Михайловский, В.А. Мыльников.

Эффективность совместно реализуемой совокупности процессов, обуславливается степенью их координации и синхронизации. Координацией результатов реализуемых процессов занимались Бойчук Л. М. и его школа, Куш С. П., Галямова Э. Ф. Вопросы системного согласования рассматривались в работах Абдрашитова Р.Т., Пищухина А.М. и др.

На основе исследований, математической постановки и решения соответствующих задач, были предложены схемы взаимной оптимизации протекающих процессов, получено множество важных результатов в этой области. Но несмотря на достигнутые успехи согласованное соединение процессов остается самым «узким местом» в любой многопроцессной системе.

В соответствии с этим поставлена цель исследования.

**Целью работы** является разработка критериев и моделей, повышающих эффективность процедуры соединения процессов в многопроцессной системе, а также постановка и решение задач оптимального управления этой процедурой.

**Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:**

1) исследовать управление процедурой соединения процессов на основе многоуровневой модели.

- 2) выявить структуру процедуры соединения процессов;
- 3) провести системный анализ механизмов соединения процессов в многопроцессной системе;
- 4) определить оптимальные зависимости при реализации различных механизмов соединения процессов в реальной производственной системе.

**Объект исследования** – строительное производство как многопроцессная система.

**Предмет исследования** – модели, методики, механизмы управления соединениями процессов в многопроцессной системе.

**Научная новизна исследования.**

1. Многоуровневая модель согласования соединяемых процессов, отличающаяся тем, что на каждом уровне анализируется соответствующий аспект процедуры соединения (со своими ограничениями): компонентный, системный, процессный, экономический и социальный (соответствует пункту 2 паспорта специальности);

2. Двухэтапная модель управления соединением процессов, при которой на первом этапе оптимизируются готовности процессов к соединению, а на втором осуществляется мониторинг отклонений от проекта и выбор соответствующих реакций на них, отличающаяся вероятностным описанием первого этапа (соответствует пункту 3 паспорта специальности);

3. Три механизма соединения процессов, отличающихся тем, что для снижения негативного влияния колебаний производительности процессов, используется промежуточный процесс, при пространственном разрыве используется передатчик, а при взаимозависимом развитии процессов используется их сопряжение (соответствует пункту 3 паспорта специальности);

4. Совокупность выявленных зависимостей для различных механизмов соединения процессов в производственной сфере, отличающихся получением их в результате постановки и решения задач оптимального управления соединением процессов (соответствует пункту 11 паспорта специальности).

**Теоретическая и практическая значимость.**

Многоуровневая модель соединения процессов может быть использована

при создании систем автоматизированного управления сложными многопроцессными производствами с целью повышения их эффективности.

Выделение двух этапов при соединении процессов позволяет разделить управленческие задачи: на первом этапе повышение готовности процессов к соединению, а на втором реализация соединения и мониторинг их параметрической согласованности.

Выявленные механизмы соединения процессов могут быть использованы в расчетно-проектной практике при моделировании и реализации многопроцессных производственных систем.

Полученные оптимальные зависимости при соединении процессов, повышающие эффективность функционирования многопроцессных систем, имеют перспективы применения в производственных системах и объектах различного назначения и степени автономности.

#### **Методология и методы исследования.**

Для решения поставленных в диссертации задач применяются

- методы системного и структурного анализа;
- методы теории управления: координатно-параметрическое управление, оптимальное управление, методы теории систем с распределенными параметрами;
- методы математического моделирования.

#### **Соответствие паспорту специальности**

Результаты исследования соответствуют пунктам паспорта специальности 2.3.1 – «Системный анализ, управление и обработка информации, статистика» :

п. 2. Формализация и постановка задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

п. 3. Разработка критериев и моделей описания и оценки эффективности решения задач системного анализа, оптимизации, управления, принятия решений, обработки информации и искусственного интеллекта.

п. 11. Методы и алгоритмы прогнозирования и оценки эффективности,

качества, надежности функционирования сложных систем управления и их элементов.

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

- пятиуровневая структурная модель соединения процессов, повышает эффективность этой процедуры за счет многоаспектного подхода и снижающая многосвязность многопроцессной системы;
- двухэтапный подход к управлению соединением процессов позволяющий на первом этапе оптимизировать уровень готовности к их соединению, а на втором сосредоточиться на контроле и коррекции параметров реального соединения;
- выявленные механизмы соединения процессов, устраняющие несогласованности потоков, нескоординированность пространственного положения и учитывающие взаимосвязь в развитии между ними;
- результаты решения поставленных задач оптимального управления с различными механизмами соединения процессов, являющиеся практически полезными в производственной сфере.

### **Степень достоверности результатов диссертационного исследования**

Достоверность результатов исследования обеспечивается корректным использованием математического аппарата, компьютерным моделированием и экспериментальными исследованиями, результаты которых не противоречат известным опубликованным положениям в данной области исследования.

**Апробация результатов.** Основные положения и результаты исследований докладывались на международной н/т конференции «Строительная наука – XXI век: теория, образование, практика, инновации Северо-Арктическому региону (Архангельск, 2017)»; Всероссийской научно-методической конференции – «Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры (Оренбург, 2017, 2018, 2019)»; на международной конференции «International Scientific Conference Construction and Architecture: Theory and Practice of Innovative Development (CATPID-2019) (Кисловодск, 2018, 2019)»; на международной конференции «International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" (ISEES 2019) dedicated to

the 85th anniversary of NI Ibragimov (Грозный, 2019)»; на международной конференции «Строительство и архитектура: теория и практика инновационного развития» (САТРИД-2020)».

**Внедрение результатов.** Разработанные модели, методики и алгоритм прошли экспериментальную проверку и частично внедрены при организации строительства панельных зданий в условиях строительных предприятий Оренбургской области.

Предложенные модели, методы и алгоритмы используются в учебно-методическом материале и применяются в учебном процессе ФГБОУ ВО «Оренбургский государственный университет» при подготовке бакалавров и магистров по направлению подготовки 08.03.01 – Строительство.

**Публикации.** По материалам диссертационной работы и результатам исследований опубликовано 10 печатных работ, в том числе 4 в журналах из «Перечня...» ВАК, 4 в изданиях, индексируемых в международной базе цитирования Scopus, в 1 зарегистрированном программном средстве.

**Личный вклад автора.** Все результаты, определяющие научную новизну, получены автором лично. Личный вклад автора включает: постановку задач исследования и выбора методов их решения, разработку программы теоретических и экспериментальных исследований строительных процессов, анализ и научное обобщение результатов, формулировку выводов и защищаемых положений.

**Структура диссертации.** Диссертация изложена на 156 страницах, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы из 207 наименований, содержит 44 рисунка, 1 таблицу, 3 приложения.

Основное содержание работы

Во введении обосновывается актуальность темы исследования, формулируются цель и задачи исследования, характеризуется научная новизна полученных результатов, их практическая значимость и достоверность, приводятся основные положения, выносимые на защиту.

**В первой главе «Состояние вопроса в области соединений процессов и задачи исследования»** анализируются различные аспекты соединения процессов в многопроцессной системе.

В современном строительстве наблюдаются тенденции преимущественного производства строительных конструкций и материалов в заводских условиях, а на стройплощадке, как правило, локализуются технологические процессы, перенос которых в заводские условия невозможен (монтаж, сборка, изоляционное и отделочные работы), т.е. процессы разобщаются.

С другой стороны, создание сложного качественного продукта требует соединения этих разорванных процессов с заданным уровнем организационно-технологической надежности.

При этом объединение процессов и возможность рассмотрения системы в целом (как многопроцессной системы) позволяет улучшить согласованность взаимодействия процессов, выявить общую структуру и, тем самым, обеспечить её эффективное функционирование. Такой процессный подход имеет преимущества по сравнению с аналитическим подходом, при котором предполагается улучшение или оптимизация каждой технологической единицы по отдельности, преимущественно без учета взаимодействия между ними.

Эффективность функционирования многопроцессных систем в большой степени зависит от процессной координации, синхронизации, согласования, то есть обуславливается организационно-технологической надежностью этих соединений.

Соединение процессов, как правило, затратная, сложная процедура, требующая глубокого предварительного анализа и обоснования. На практике вопросы, связанные с согласованным соединением процессов, включаются в проектную часть создания продукта. Такой подход позволяет на стадии проектирования технологических процессов предусматривать рациональные показатели, условия, механизмы их соединения. При этом предполагается, что проектные требования будут реализованы без отклонения.

Однако при реализации проекта возникают многочисленные риски и неопределенности в отношении соблюдения проектных требований, что влечет

за собой дополнительные организационные действия. Эти действия как правило будут нерациональными, поскольку они «стихийны», а процессы при этом не готовы к «форс-мажорным» обстоятельствам. Выходом из этой ситуации может быть вероятностное описание процессов и направление больших организационных ресурсов на наиболее вероятный исход событий для повышения этой готовности.

Таким образом, управление соединением процессов в значительной степени зависит от того, проводится оно при проектировании или реализации. Кроме того, управление процедурой соединения должно иметь несколько контуров, направленных на поддержание заданных уровней управляемых величин у каждого из компонентов системы, в качестве которых выступают процессы, а также по каждому из аспектов: системности, процессности, экономики и социальной полезности. В этом случае, лучше всего подходит многоуровневое управление со специализацией в отношении указанных аспектов.

В научной литературе имеются сведения по разработке многоуровневых систем. Например, такая постановка встречалась при выборе критериев оптимизации и включала четыре уровня: параметрический, структурный, технологический и экономический. При этом критерий выбора выявлялся на верхнем уровне и спускался на нижний, то есть для выбора технологии необходим экономический критерий, для выбора структуры – технологический, а для выбора оптимальных параметров необходим структурный критерий. Однако, экономика может быть успешной, но находиться за пределами морали, экологических, правовых, политических и других ограничений. Поэтому над экономическим уровнем должен главенствовать социальный уровень.

В конце главы сформулирована цель и задачи исследования решение которых устранил указанные выше противоречия.

**Во второй главе «Системный подход к управлению соединением процессов»** разрабатывается многоуровневая, двухэтапная система управления соединением процессов.

Будем рассматривать сложные многопроцессные системы, создающие, как правило, объекты, требующие предварительного проектирования. По-

скольку исследование направлено на совершенствование процедуры соединения процессов, в начале используется многоуровневый подход к построению ее модели.

На самом нижнем уровне (компонентном) располагаются процессы-компоненты. Основной задачей на этом уровне является выбор таких процессов-компонентов, потенциал которых максимально согласуется с целью функционирования многопроцессной системы.

На втором (системном) уровне целью процессного согласования является организация необходимых взаимосвязей (структуры) между процессами-компонентами (статический синтез многопроцессной системы).

На третьем (динамическом) уровне функционирующие компоненты-процессы согласуются по объёму и скорости производства продуктов (по интенсивности потоков – динамический синтез).

На четвёртом уровне согласование процессов рационализируется, выбираются оптимальные решения. Поскольку самыми лучшими критериями при этом являются время и финансы целесообразно проводить это согласование экономическими методами и инструментами (экономическое сопровождение).

На пятом уровне функционирование многопроцессной системы согласуется с социальными потребностями, выражаемыми рынком, актуальными тенденциями, модой и т.д. (социальный уровень), выбираются только социально приемлемые решения.

В качестве главного показателя, оценивающего соединение процессов в многопроцессной системе целесообразно принять эффективность. При этом под эффективностью понимается комплексный показатель, отражающий три аспекта: целерезультативность, ресурсозатратность, оперативность.

Такой подход может не учитывать некоторые важные практические аспекты, например, требуемый при достижении цели уровень безопасности, качества получаемого продукта и др. Количественно указанные недостатки можно формировать в виде ограничений, введением коэффициента «вето».

Анализ многоуровневой модели процедуры соединения процессов показывает ее сложность и многоаспектность. Эта процедура требует рассмотре-



ния как организационного, так и технологического, экономического и даже социального аспектов.

Эффективность процедуры соединения процессов в многопроцессной системы определяется как произведение трех коэффициентов, отражающих соответственно целерезультативность, ресурсозатратность и оперативность. Отклонения последовательности операций в проведении процесса и невыполнение требований техники безопасности запрещаются функцией «вето».

Управление соединением процессов целесообразно разбить на два этапа. На первом этапе необходимо создавать условия согласованного соединения процессов (повышать готовность процессов к соединению). На втором – целью управления становится контроль показателей процессов при их непосредственной реализации (соединении).

В самом общем случае можно рассмотреть схему, при которой один процесс выбирает другой целью слежения и управление для него реализуется точно также, как в следящей системе. Второй, согласуемый с ним процесс, готовится к встрече (или в зависимости от задачи настраивается на избегание этой встречи). В этом случае оба процесса будут усложнять управление друг другу.

Поскольку готовность процессов к соединению оценивается вероятностью выполнения процессами своих функций для математического описания выберем аппарат теории вероятности, а точнее воспользуемся первым приближением в виде Марковского процесса.

Для исключения фактора «соревновательности» процессов, описанного выше, воспользуемся проектными значениями показателей как реперными точками для их стыковки.

Пусть проектом задается некоторый показатель, требующий согласования, например, интенсивность потока. Обеспечение требуемой интенсивности задает необходимую по проекту плотность вероятности соединения двух процессов. К ней должны стремиться плотность вероятности обеспечения заданной интенсивности потока (перерабатываемого сырья, материалов, обрабатываемой информации, изготавливаемых или собираемых изделий и так далее)

первого процесса и плотность вероятности готовности второго процесса принять этот поток.

Пусть проектом задается достаточная для стыковки двух процессов плотность вероятности. При выполнении условия марковости процесса плотность описанной вероятности должна подчиняться уравнению Фоккера-Планка-Колмогорова.

Похожему уравнению должен подчиняться и первый и второй соединяемые процессы, но коэффициенты сноса и диффузии будут другими.

В этом случае, возможно только мультипликативное параметрическое управление таким объектом и затруднено координатное.

Задача оптимального управления в данном случае может быть сведена к минимизации различия плотностей вероятностей, подчиняющихся уравнениям процессов по отношению к проектной, точно также, как и управленческие затраты, направленные на приближение коэффициентов диффузии к задаваемому проектом.

В соответствии с методом аналитического конструирования оптимальных регуляторов (АКОР) профессора Летова А.М. в минимизируемый функционал включается критерий качества управления в виде суммы квадрата потерь от недостаточности управления, описываемый разностью плотностей вероятностей, введенных выше, и квадрата затрат на управление, снижающее эти потери.

Лагранжиан, включает подынтегральную функцию и уравнения состояния соединяемых процессов.

Полученные нелинейные уравнения решены с помощью метода малого параметра.

В результате показано, что в зависимости от величины проектной плотности вероятности оптимальное управление может заканчиваться досрочно, точно в срок или быть неоконченным. При ее увеличении уменьшается площадь под ее графиком. Это означает возрастание детерминированности всех параметров протекания процесса и при высокой точности площадь под кривой

управляющих воздействий будет стремиться к нулю, т.е. необходимость готовить процессы к соединению отпадает.

Таким образом, исследование задачи оптимального управления согласованием процессов по вероятностным критериям качества показывает важность проектной симметризации, позволяющей определить оптимальный расход ресурсов на управление готовностью процессов к соединению.

### **В третьей главе «Моделирование и управление механизмами соединения процессов»**

Многопроцессная система своим функционированием обеспечивает достижение проектных показателей качества конечного продукта. На системном уровне она представлена элементами-процессами и их соединениями. Поскольку в производственных многопроцессных системах элементами являются технологические процессы, и они обычно достаточно отработаны, «узким местом» остается их согласованное соединение. Поэтому целью данного исследования являются способы повышения эффективности функционирования многопроцессной системы, обусловленной степенью согласования включенных в нее элементов - процессов.

Систематизация проблемы соединения процессов должна основываться на классификации процессов. В качестве признака выбрано поведение порождаемых процессами потоков (перерабатываемого сырья, материалов, энергии, информации). В соответствии с этим выделяются процессы-источники, процессы-потребители, процессы-преобразователи, процессы-интеграторы, процессы-мультиприкаторы, процессы-интеграторы-мультиприкаторы.

С другой стороны, элементы – процессы в многопроцессной системе могут образовывать сложную структуру последовательным, параллельным (встречно-параллельным) соединениями. В качестве примера рассматривается схема строительного производства.

При параллельном соединении процессов необходимо проводить координацию их выходов, в виде заданного соотношения между ними (координирующее управление).

При последовательном соединении процессов выявлено три механизма соединения: с промежуточным процессом, процессом-передатчиком и сопряжённым соединением.

Таким образом можно выделить семь механизмов соединения процессов:

- последовательное соединение с введением промежуточного процесса;
- последовательное соединение дискретных процессов с помощью механизма передачи;
- параллельное соединение непрерывных процессов с механизмом интеграции;
- параллельное соединение дискретных процессов с механизмом передачи и интеграции;
- параллельное соединение непрерывных процессов с механизмом дифференциации;
- параллельное соединение дискретных процессов с механизмом передачи и дифференциации;
- соединение процессов путем сопряжения.

Кроме того, к выделенным классам соединений можно добавить различные комбинации таких механизмов.

**В четвертой главе «Разработка методики повышения эффективности строительных процессов»** рассмотрены вопросы применения полученных теоретических результатов на практике. В качестве области применения результатов исследования по соединению процессов выбрано строительство.

На основе обобщенной модели разработана пятиуровневая модель процедуры соединения основных процессов при панельном домостроении.

Компонентный уровень представлен всеми процессами, выполняемыми на строительной площадке: транспортировки, устройства фундамента, складскими операциями, грузоподъемными операциями, строительно-монтажными работами, гидроизоляционными работами, отделочными работами и т.д. Все работы сопровождаются действиями персонала. В качестве основных процессов, представляющих все уровни в пятиуровневой модели, выберем складские операции, грузоподъемные операции, строительно-монтажные работы.

На системном уровне в качестве примера реализации пространственного соединения процессов складирования и строительно-монтажных работ становится определение оптимального места стоянки крана.

На динамическом уровне примером реализации динамического соединения является сопряжение процессов увеличения монтажной отметки здания и изменения количества звеньев монтажной бригады.

На уровне экономического сопровождения рассматривается соединение процесса заказа и расхода панелей.

На социальном уровне рассматривается процедура соединения производственных процессов, выполняемых персоналом, и процессов, обеспечивающих безопасность. На социальном уровне также отсекаются социально неприемлемые решения.

Системный уровень представлен соединением процессов посредством передатчика на примере работы грузоподъемного крана. Модельное представление крана включает два движения: поворот стрелы и окончательное доведение груза с помощью перемещения крановой тележки вдоль стрелы. Исследуем взаиморасположение крана, склада и места монтажа не учитывая вертикальное перемещение груза, т.к. это не влияет на выбор места стоянки крана.

При этих условиях можно сформулировать минимизируемый время критерий.

Дальнейшее моделирование проводилось с помощью компьютерной программы с целью выявления зависимостей минимального времени перемещения груза от расстояния между складом и местом монтажа, а также технических характеристик крана.

Анализ полученных зависимостей позволяет сделать вывод, что в самом оперативном варианте движение крановой тележки должно быть сведено к минимуму, т.е. перемещение груза рационально осуществлять только поворотом стрелы крана.

Динамический уровень представлен соединением сопряженных процессов на примере монтажа панельного здания. Количество звеньев в бригаде оп-

ределяется из условия минимума затрат из двух альтернатив: ожидания звеном момента освобождения крана или простоя крана, ожидающего конца монтажа.

Поставленная задача относится к классу задач целочисленного программирования.

На экономическом уровне рассмотрено соединение с механизмом введения промежуточного процесса - складирования.

Динамика процесса описывается изменением остатка панелей на складе, пропорциональным разности скорости поступления панелей и скорости их расходования (скорость монтажа).

Изменение скорости монтажа (скорость расходования панелей), определена в предыдущей задаче.

Управлять складом можно увеличивая запас (остаток на складе) или объемом заказа, что ведет к снижению экономической эффективности, а, следовательно, необходимо минимизировать каждую из этих величин. Используя вновь функционал профессора А.М. Летова можно составить классический Лагранжиан.

Полученные результаты требуют экспоненциального уменьшения, как величины заказа, так и остатка на складе по мере роста этажности.

Таким образом, применение на практике, выявленных теоретических положений относительно соединений процессов методами сопряжения, промежуточного процесса и передатчика доказало их состоятельность и позволило повысить эффективность указанных процедур в отношении оперативности и ресурсозатратности.

## **ГЛАВА 1 . СОСТОЯНИЕ ВОПРОСА В ОБЛАСТИ СОЕДИНЕНИЙ ПРОЦЕССОВ И ЗАДАЧИ ИССЛЕДОВАНИЯ**

В данной главе рассматриваются текущие задачи, стоящие перед крупными производственными предприятиями, как многопроцессными системами, и проводится анализ проблем, связанных с соединением процессов в них. На основе проведенного литературного анализа выявлены недостатки существующих методик, моделей и алгоритмов.

### **1.1 Современные производственные предприятия как многопроцессные системы.**

Современное производство, как правило, характеризуется непрерывным усложнением выпускаемой продукции. Это влечет за собой необходимость согласованного взаимодействия многих технологических процессов и объединения их в систему.

При этом объединение процессов обеспечивает возможность рассмотрения системы как многопроцессной с общей структурой и общей задачей обеспечения её эффективного функционирования. Такой подход имеет преимущества по сравнению с аналитическим подходом, при котором предполагается улучшение или оптимизация каждой технологической единицы по отдельности, преимущественно без учета взаимодействия между ними.

Таким образом, многопроцессная система состоит из отдельных процессов как элементов и реализуется путем их согласованного соединения.

Термин многопроцессная система редко встречается в научно-технической литературе. Чаще употребляется термин «интеграция процессов» [180, 136, 77], понимаемый как сведение всех технологических процессов в общий производственный процесс с дальнейшим рассмотрением его как единое целое. Это объединение имеет целью создание заданного продукта.

В машиностроении применяется термин распределенная производственная система [33]. Можно выделить несколько классов таких систем. В случае производства масштабного и/или сложного продукта применяется позицион-

ная организация производства [142] и технологические процессы реализуются вокруг этого изделия, а его перемещения сводятся в минимум. Такой случай мы имеем при создании строительного объекта, сборке космического или летательного аппарата.

Другим видом организации производства продукта является конвейер [35], в котором подвижен уже сам продукт, а технологические процессы заранее позиционированы. Аналогично функционирует и групповое производство, хотя позиционирование технологического оборудования проводится по другому принципу (принцип одинакового оборудования – группа токарных, фрезерных, шлифовальных, зубонарезных и других станков) [141]. В связи с этим существует термин «групповая технология», которая подразумевает разделение технологических процессов по типам обрабатываемых поверхностей и их сочетаний, т.е. по общности оборудования, необходимого для обработки деталей. Здесь имеется другой вид объединения технологических процессов, при котором процессы слабо связаны и реализуются параллельно [142].

Рассмотренные два класса многопроцессных систем связаны с созданием только одного вида продукта. Если же речь идет о заданном ассортименте продуктов, многопроцессная система создается как «оптимальный портфель» технологий с таким расчетом, что для любого продукта из ассортимента можно набрать полный комплект технологий для его изготовления.

Основное свойство такой системы – «гибкость», реализуется путем переключения технологических процессов. Объединение разнородных процессов – обработки, транспортировки, складирования приводит к появлению термина «гибкая производственная система». Ее обобщенная схема представлена на рисунке (см. Рисунок 1.1).



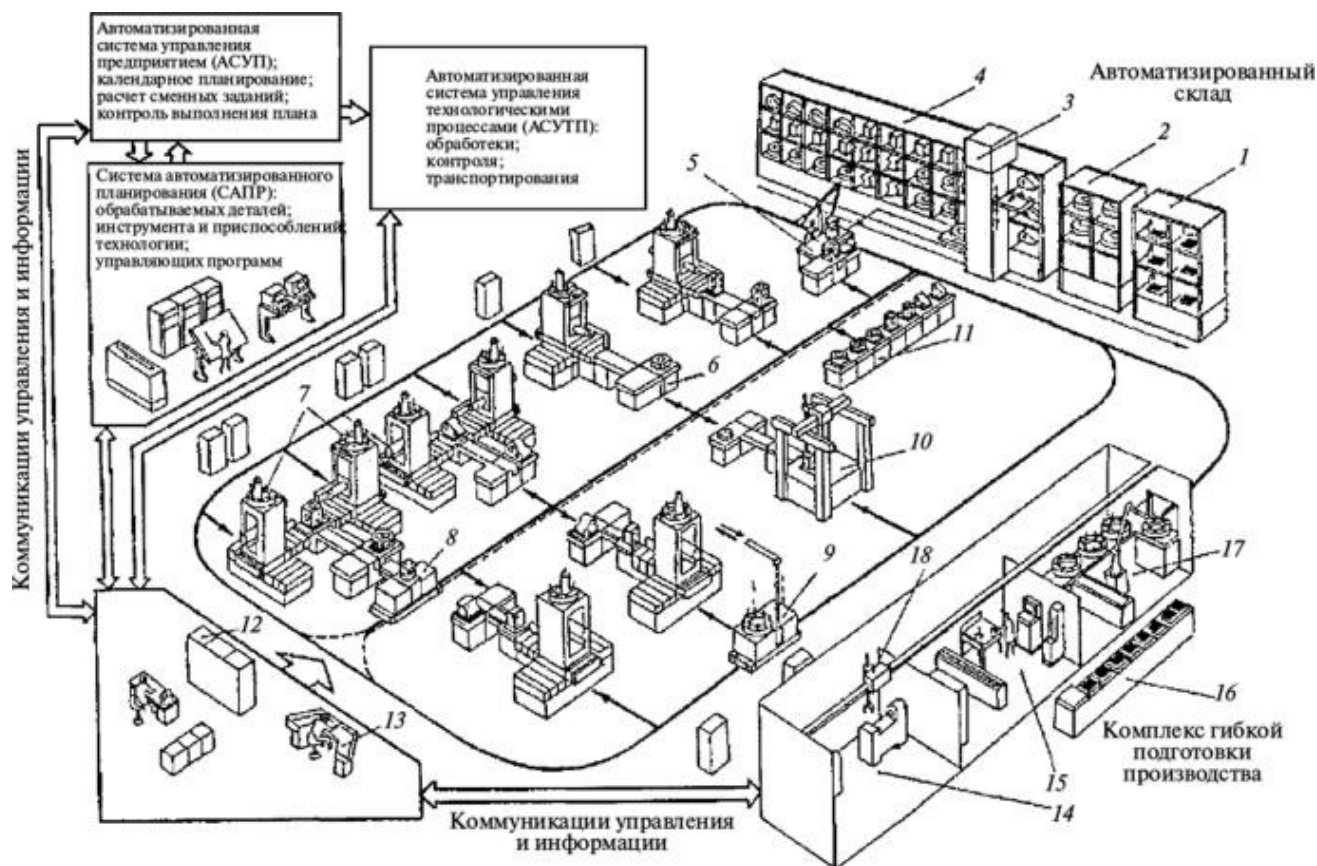


Рисунок 1.1 – Обобщенная схема гибкой производственной системы (ГПС)

Таким образом, объединение процессов в многопроцессную систему может проходить по единству объекта производства, единству технологий, а также необходимости обеспечения гибкости переключения технологий в зависимости от поведения рынка.

Многопроцессную систему можно выявить на более высоком уровне иерархии и говорить об интеграции производственных процессов в отличие от интеграции технологических процессов. В связи с этим крупном производстве, существует понятие «системный интегратор» [123].

## 1.2 Механизмы соединения процессов в производственных многопроцессных системах.

Как и любая система многопроцессная состоит из совокупности элементов и их взаимосвязей. Взаимосвязи в данном исследовании ассоциируются с соединением процессов [101]. Термин соединение процессов не единственный. Однако, другие термины такие, как сочленение, скрепление, связывание, склеивание – несут «родовые пятна» механизма связи. Термин «сопряжение»

специфичен поскольку задействован в биологии, где под ним понимается ситуация, когда выход одного процесса является входом другого, т.е. сами процессы встречно-параллельны [146]. Напротив, термин «соединение» – системный термин и, на наш взгляд, подходит более всего, отражая уровень взаимосвязи и совместного взаимодействия процессов для достижения общей цели [164].

Соединение процессов происходит в пространстве и во времени. Примером пространственного соединения может быть выравнивание высоты появления результата первого процесса с высотой приема во втором процессе, как это происходит при выполнении грузоподъемных работ в строительстве. Другим примером может быть согласование поверхностных координат появления результата одного процесса и приёма второго. В случае невозможности сближения этих процессов возникает необходимость транспортировки.

Соединение процессов во времени осуществляется такими инструментами как календарный график, диаграмма Ганта, сетевой график. [203, 126, 72, 57, 161, 72]. Кроме того, процессы могут быть непрерывными во времени или допускающими разрывы при ограничении времени ожидания. Примером подхода, снижающего потери от таких разрывов, может служить японская система организации производства «КАНБАН» [5].

Поскольку при соединении процессов результат одного передается другому может потребоваться согласование объёмов передаваемого результата с «приемными возможностями» второго процесса. При этом поток может быть непрерывным или дискретным, от этого зависит механизм согласования. Самый простой механизм - это изменение объема результата в первом процессе, либо возможностей приема во втором. Другим механизмом может быть промежуточное накопление (складирование). Причем оно может быть справедливо как для дискретных процессов, так и для непрерывных. В последнем случае необходимы дополнительные емкости, в которые и будет складироваться (аккумулироваться) передаваемый продукт [195].

Механизм использующий складирование может работать с распределением результата первого процесса между складом и вторым процессом, а так-

же при повышении возможностей приема второй процесс дополнительно соединяется со складом. Имеется даже теория определения оптимального размера склада (запаса) [34, 89], связанная с организационно-технологической надежностью производственной системой.

### **1.3 Управление соединением процессов в производственных многопроцессных системах.**

Применение методов оптимального управления при выполнении соединений процессов гарантированно обеспечивает наилучшие из возможных условий и режимов. Сложности возникают с математическим описанием объектов управления и выбором критериев.

Что касается математического описания объектов, в первом приближении, можно использовать самые простые модели, например, апериодического или колебательного звена [181], описывая инерционность и колебательность механизмов соединения процессов. Это позволит получить зависимости обобщенного уровня и максимально рационализировать управление.

С точки зрения математики, можно также выбрать самые простые критерии, например, критерий профессора Летова А.М., минимизирующий сумму квадрата потерь от недостаточного управления и квадрата управленческих затрат [125]. С другой стороны, природа этих критериев может быть разной. Критериями самого высокого уровня должны быть социальные. Другими словами, продукт многопроцессной системы должен быть социально востребован и социально безвреден, а также должен выражаться определенными показателями, например, уровнем экологичности, уровнем его привлекательности (потребности) для населения и т.д. В свою очередь, эти показатели необходимо увязать с характеристиками, обеспечиваемыми выбранными механизмами соединения процессов в многопроцессной системе. Такие показатели могут стать также основанием для выбора этих механизмов, превращая параметрическую оптимизацию в структурную [158].

С другой стороны, объективными и наиболее часто используемыми критериями являются экономические. Они могут формироваться рынком и выра-

жать спрос на продукт многопроцессной системы. Но могут обуславливаться внутренними свойствами многопроцессной системы, связанными с себестоимостью изготовления продукта, которая кроме прочих затрат, включает затраты на проведение процедур соединения процессов.

С точки зрения технических приложений, лучшими будут критерии быстродействия (насколько быстро осуществляются соединения) и точности, а также критерии, отражающие степень соответствия результатов целевым установкам.

Проведенный анализ критериев показывает целесообразность использования многоуровневой модели управления соединением процессов.

Многоуровневые системы управления ведут свой отсчет с работы [126], где также как и в другой работе [76] рассматриваются сущность многоуровневых управляемых систем, их ключевые признаки, существенные характеристики и факторы, обуславливающие отличительные эффекты, приводятся параметры модели функционирования многоуровневых управляемых систем, структура и алгоритм функционирования с учётом принципа «разумного» управления.

Многоуровневая постановка встречалась при выборе критериев оптимизации и включала четыре уровня: параметрический, структурный, технологический и экономический в работе Абдрашитова Р.Т. [28]. При этом критерий выбора выявлялся на верхнем уровне и спускался на нижний, то есть для выбора технологии необходим экономический критерий, для выбора структуры – технологический, а для выбора оптимальных параметров и режимов необходим структурный критерий. Однако, экономика может быть успешной, но находиться за пределами морали, экологических, правовых, политических и других ограничений. Поэтому над экономическим уровнем должен главенствовать социальный. В результате получаем модельное распределение уровней, изображенное на рисунке (см. Рисунок 1.2).



Рисунок 1.2– Иерархия уровней выбора показателей.

Однако, применительно к соединению процессов, данная схема требует адаптации. Основным критерием качества соединения процессов выбрана организационно-технологическая надежность [67, 174, 48, 150, 41], поскольку такой критерий учитывает и организацию, и технологию. Уровень организационно-технологической надежности можно оценить, рассматривая три аспекта: координацию, синхронизацию и соответствие стыковочных показателей.

Рассмотренные далее положения конкретизируются применительно к организационно-технологической надежности соединения процессов в ходе выполнения строительно-монтажных работ.

Принято считать, что обеспечение качества объекта строительства сводится к контролю качества строительных материалов, изделий и технологии [154,119].

При этом упускается из вида вклад в общее качество конечного продукта строгости обеспечения заданных режимов выполнения строительно-монтажных работ (СМР), как самого важного элемента многопроцессной системы. Стало быть, речь идет о максимально адекватной организации соединения обеспечивающих процессов на строительной площадке, которая выполняет роль системного интегратора процессов [70].

Организационно-технологическая надежность функционирования такого интегратора обеспечивается правильными и своевременно принимаемыми управленческими решениями.

Принятие решений является основной функцией процесса управления [159]. Именно от адекватности принятых решений в данных сложившихся обстоятельствах зависят все классические показатели качества управления – и быстроедействие, и точность, и запас устойчивости, а, кроме того, еще и эффективность и оптимальность, показывающие какими затратами обусловлено достижение поставленной цели управления [118].

Современная теория принятия решений базируется на достижениях в трех областях: математике и математической логике, информационных технологиях и психологии человека (точнее лица, принимающего решения – ЛПР) [112].

Различные задачи и методы принятия решений классифицируются по роли ЛПР в них на четыре класса [128]:

1. С поиском решения без участия ЛПР;
2. С привлечением ЛПР при построении правил выбора решений;
3. С интерактивным выбором решения и поэтапным привлечением ЛПР на каждом этапе;
4. С использованием информации об аппроксимации границы Парето и сообщением этой информации в том или ином виде ЛПР.

Из этих определений и классификации следует необходимость создания системы поддержки принятия решений (СППР). Для этого, в первую очередь, выбираются соответствующие задачам критерии и разрабатываются алгоритмы, максимально принимающие вычисления на себя.

Как выяснено выше, обеспечение необходимого уровня качества строительства сложная задача, которую нельзя решать без предварительного прогнозирования результатов, планирования деятельности и проектирования комплекса принимаемых организационно-технологических решений. Процедура принятия решений может быть настолько сложна, что потребуются использование методов системного анализа и моделирования, прогнозирования,

искусственного интеллекта и др. [45,66, 121,133,168,168]. Обычно принятие решений осуществляется в семь этапов:

1. Выделение проблемы;
2. Описание ситуации;
3. Поиск адекватных критериев;
4. Упрощение проблемы до нижнего предела;
5. Декомпозиция задач, решение которых устраняет проблему, при условии сохранения сущности исходной проблемы;
6. Композиция полученных результатов решения с сохранением основных признаков;
7. Формирование общего решения проблемы.

Саму процедуру принятия решений, осуществляемую в процессе выполнения пятого и шестого пунктов этой последовательности, можно представить в виде следующей схемы, изображенной на рисунке (см. Рисунок 1.3).

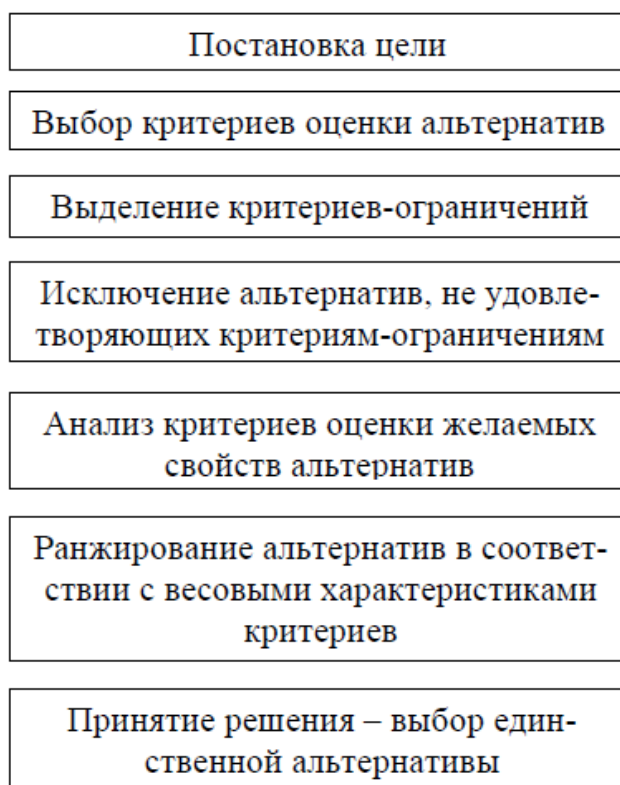


Рисунок 1.3 – Последовательность принятия решений

Понятно, что центральным аспектом этой процедуры принятия решений являются выбранные критерии и ограничения, которые способствуют уменьшению множества альтернатив [141].

Перед системой поддержки принятия решений (СППР) стоят две основные задачи [188, 1,3,22]:

- обеспечение условий выбора наилучшего решения из множества возможных (оптимизация);
- упорядочение возможных решений по предпочтительности (ранжирование).

Для решения этих задач в системе имеется совокупность программных инструментов анализа, моделирования, прогнозирования и принятия управленческих решений.

В нашем случае СППР должна отвечать в первую очередь на вопросы, связанные с обеспечением качества производства строительного-монтажных работ:

#### *организационные*

- Какие строительные материалы и элементы доставляются вовремя, а какие - с запозданием;
- Изменяется ли скорость доставки определенных материалов со временем;
- Каковы основные причины простоев персонала и оборудования и др.
- Сколько звеньев бригады занято монтажом.

#### *Структурные*

- Сколько башенных кранов необходимо задействовать на строительной площадке;
- Где их установить;
- Нужно ли добавить подъездные пути;
- Как расположить склад строительных материалов.

#### *технологические*

- Насколько быстрее или медленнее протекают строительные-монтажные работы после проведения организационных мероприятий;
- Какое время затрачивает кран на перемещение панелей к месту монтажа;
- С какой скоростью производится монтаж панелей.



Повышение эффективности организационно технологических решений можно достигать технологическими способами, как например об этом говорится в работе [116]. Неслучайно поэтому основным принципом экономичного и рационального строительства является технологизация – устранение ручного труда за счет широкого применения машин и оборудования, изготовление по максимуму строительных элементов в производственных условиях, а потому возникает проблема доставки этих элементов на строительную площадку. Такое положение дел в строительстве ведет к необходимости увеличения массы, количества и скорости перемещения грузов, детальной разработки и строгой организации выполнения технологии их перемещения [103].

Для повышения эффективности осуществления технологии перемещения грузов, в строительстве необходимо проводить глубокую оптимизацию всех работ, связанных с этими перемещениями. Естественно встает вопрос о выборе рационального критерия оптимизации. При этом возникает дилемма: выбрать универсальный критерий широкого охвата, либо массу частных критериев, а из них образовать некий интегральный [140,140].

В качестве универсального обычно выбирают экономические критерии: разность затрат и экономического эффекта от их реализации или отношение этих двух величин. Частными критериями могут быть: масса перемещаемого в единицу времени груза, энергозатраты на единицу массы перемещаемого груза, произведение массы среднего груза на среднее расстояние по перемещению и так далее.

Очевидно, что минимизация выбранного интегрального критерия должна осуществляться на пути проведения мероприятий по планированию оптимального перемещения грузов, увязки проведения грузоподъемных работ с общим планом строительства, диспетчеризации поступления и размещения грузов, способствующей их равномерному поступлению, рациональному размещению и готовности оборудования, самих грузов, персонала к проведению грузоподъемных операций.

В качестве главного ограничения при решении задачи оптимизации выступает безопасность производимых грузоподъемных работ, то есть обеспече-

ние условий безопасного, плавного и бесперебойного перемещения грузов на строительной площадке при работе грузоподъёмного крана [140,198].

Это в свою очередь приводит к необходимости повышения производительности и надёжности работы грузоподъёмных кранов, скорости и точности перемещений груза и самого крана, роста его грузоподъёмности, рабочих скоростей, средней загрузки, экономичности и возможности интеграции в автоматизированные системы управления строительством.

Такие рассуждения приводят к выводу, что одним из основных элементов в технологической цепочке строительства является грузоподъёмный кран, как ведущий и наиболее дорогой механизм, обеспечивающий, в том числе, и многопоточность строительства [196]. С другой стороны, большое количество факторов влияния на условия работы крана, повышенные угрозы безопасности, в том числе при работе на высоте, как раз для башенного крана значительно повышают уровень опасности. Эти условия создают необходимость выполнения процессов перемещения грузов и самого башенного крана с повышенной точностью в пространстве и времени, а также готовности всех занятых в технологической цепочке людей и оборудования.

Поскольку кран является самым дорогим и основным элементом в технологической цепи, важны происходящие в нем и вокруг него процессы.

При передвижении крана по наземному рельсовому пути возникает ряд динамических процессов, существенно влияющих на работоспособность, как крана, так и рельсового пути. К таким процессам относятся: упругие колебания элементов трансмиссии, механизмов передвижения и металлоконструкции крана, возникающие при его пуске и торможении; поперечные и вращательные движения в горизонтальной плоскости в пределах зазоров между ребрами ходовых колёс и рельсами; ударное нагружение элементов ходовой части крана, его металлоконструкции, механизмов передвижения крана при проходе крановыми колёсами рельсовых стыков, а также некоторые другие [108].

Безопасность проведения перечисленных процессов зависит от геометрических характеристик и условий нагружения конструктивных элементов крана; от устройства привода и системы стабилизации движения; от планово-

высотных параметров крановых путей, которые в свою очередь зависят от состояния как верхнего, так и нижнего строения пути.

Далее, крановый путь является важным элементом в единой механической системе эксплуатации грузоподъёмного механизма. Недостаточная глубина имеющихся проведённых исследований, результаты натурных обследований путей и кранов подтверждают необходимость дополнительных исследований взаимодействия элементов «кран-путь». Можно сделать вывод об актуальности инициации исследования адаптации рельсо-колёсного механизма крана к планово-высотным параметрам крановых путей в зависимости от конкретных технических и геометрических характеристик крана [111].

Актуальность оптимизации взаимодействия системы «колесо-рельс» аргументируется повышением производительности грузоподъёмного механизма, как фактора повышения экономической эффективности использования башенного крана.

Необходимо рассматривать кран и крановый путь как, влияющие друг на друга в процессе эксплуатации, элементы единой системы. Техническое состояние крановых путей в значительной степени влияет на плавность, величину перекосных нагрузок, сопротивление движению, безопасность, бесперебойность и рентабельность эксплуатации кранов, а при отклонении параметров кранового пути от проектных, велика вероятность повышенного износа, ранней выбраковки отдельных элементов пути, вне регламентного их ремонта и нерационального использования грузоподъёмных механизмов.

Установлено, что главными факторами, влияющими на износ крановых колёс и подкрановых рельсов, является неблагоприятное сочетание перекоса всех колёс, неравенство тяговых усилий тормозным силам и силам сопротивления движению, значение коэффициента поперечной податливости, отношение пролёта к базе, конструктивный зазор между ребрами колёс и рельсами [111].

При перекосном состоянии пути невозможно устойчивое прямолинейное движение крана, что приводит к повороту оси направления движения крана относительно оси пути. Самыми неблагоприятными факторами являются

перекос колёс в одну сторону и случай, когда передние и задние колёса перекошены в разные стороны [111]. В этих случаях наблюдается высокий уровень длительно действующих поперечных сил и сил сопротивления движению, являющихся главной причиной малого срока службы крановых колёс и рельсового пути, а также выхода из строя приводных элементов.

Таким образом, одним из наиболее важных мероприятий, направленных на повышение эффективности и надёжности крановых путей является исключение перекоса колёс, т.е. обеспечение плавности и прямолинейности движения крана. Обеспечить это можно конструктивными мероприятиями или установкой различных систем автоматизации обеспечения стабильного и быстрого перемещения крана и груза.

Одним из наиболее существенных условий для плавности и стабильности процессов, происходящих при перемещении крана, является устойчивое прямолинейное движение. Для поддержания такого состояния возможно использование конусных колёс. Однако устойчивое прямолинейное движение крана с отдельным приводом существует лишь при очень малых возмущающих воздействиях. Отсюда можно сделать вывод, что никакая система синхронизации, т.е. система автоматического поддержания равенства скоростей двух сторон крана существующей конструкции, не сможет увеличить область его устойчивых прямолинейных движений [100,111].

Существуют и другие способы сохранения прямолинейности движения крана. Применение в кранах с отдельным приводом жёстко связанных холостых колёс обеспечивает реальное устойчивое движение «назад» в большом диапазоне возмущающих воздействий. Вместе с тем, движение крана с отдельным приводом «вперёд» стало не только практически, но и теоретически неустойчивым. Относительно кранов с центральным приводом, замена цилиндрических колёс на конические целесообразна и экономически оправдана [100].

На практике не всегда существует возможность обеспечения жёсткой связи колёс. Потому представляется необходимым рассмотреть другие способы уменьшения возмущающих воздействий для увеличения диапазона суще-

ствования устойчивого прямолинейного движения, а также продления сроков службы элементов системы «колесо-рельс».

Для продления сроков службы, уменьшения темпов износа элементов системы колесо-рельс, а также увеличению области существования устойчивого прямолинейного движения крана, учитывая разнообразие конструкций крана, а также индивидуальность использования кранового пути рекомендует-ся разработка и установка автоматизированной системы стабилизации движе-ния башенного крана.

Такие мероприятия уменьшают возможность наката, заклинивания, уменьшают силы сопротивления движению крана, продлевают межремонтные сроки, снижают энергоёмкость.

Таким образом, постановка задачи оптимизации выполнения грузоподъ-емных операций в строительстве включает разработку интегрального крите-рия, обсуждение всех мероприятий, ведущих к его экстремизации, а также вы-явление существующих ограничений на изменения состояния объекта оптими-зации с учетом его начального состояния и имеющихся ресурсов управляю-щих воздействий.

При принятии управленческих решений важно предвидеть их последст-вия. Для этого необходимо осуществлять прогнозирование или еще лучше планирование развития событий [144]. Поскольку единственным инструмен-том, позволяющим анализировать развитие событий является моделирование, соответственно надежность прогнозирования непосредственно связана с адек-ватностью применяемых моделей [190,132,31,81]. Процедура принятия реше-ний при этом видоизменяется в соответствии с этапами принятия решения (см. Рисунок 1.4) [170].

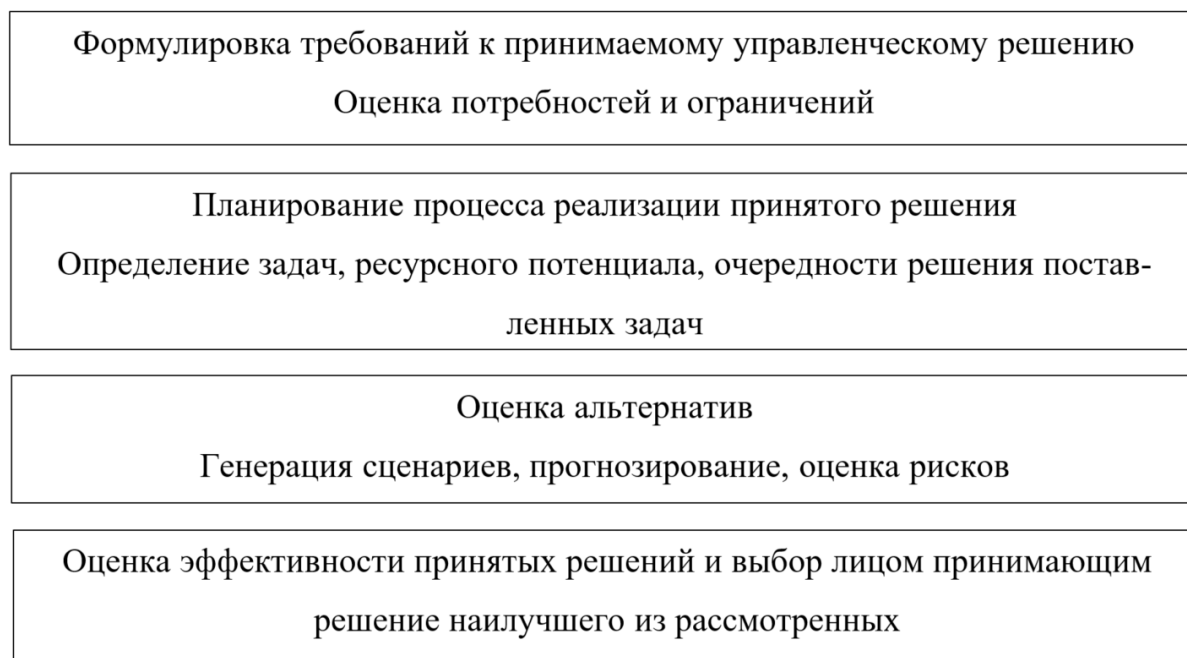


Рисунок 1.4 – Этапы принятия решения с учетом прогнозов его эффективности.

На практике реализация каждого из приведенных этапов характеризуется большим количеством неопределенностей в используемой информации. При этом неопределенность может быть, как стохастической, так и нестохастической. Для уменьшения влияния этих неопределенностей на принимаемые решения применяют в первом случае вероятностные методы, во втором – возможности, основанные на методах правдоподобия или теории нечетких множеств [92]. В самых сложных случаях, когда, например, исследуется динамика развития большого жилого массива или даже города [170] необходимо применять имитационное моделирование, представляя динамику простыми конечно-разностными уравнениями, когнитивный анализ, привлекая методы искусственного интеллекта в виде правил или сценарное прогнозирование.

Недостаточность, трудность учета и обработки управленческой информации при принятии решений, особенно в части прогнозирования, требует создания соответствующей системы поддержки. Учитывая сложность и быстротечность задач, возникающих на строительной площадке во время монтажа необходимо иметь развитую систему мониторинга окружающей обстановки и быстродействующую, многофакторную систему поддержки принятия решений.

## 1.4 Проектный подход к управлению соединением процессов.

Сложность многопроцессной системы требует обязательного предварительного проектирования как продукта (проектом объекта производства), так и организации процесса его изготовления (проект производственного процесса). Это означает, что функционирование многопроцессных систем связано с двумя видами проектов. Проект производственного процесса в свою очередь можно подразделять на проект организации производства (ПОС) и проект функционирования производства или выполнения работ (ППР) [204]. Проект выполнения (производства) работ имеет процессную специфику, т.е. протяженность во времени, этапность. Эта специфика отражается на схеме управления (см. *Рисунок 1.5*).

Представляя проект моделью и встраивая ее в контур управления, приходим к адаптивной схеме управления с эталонной моделью в контуре [75].

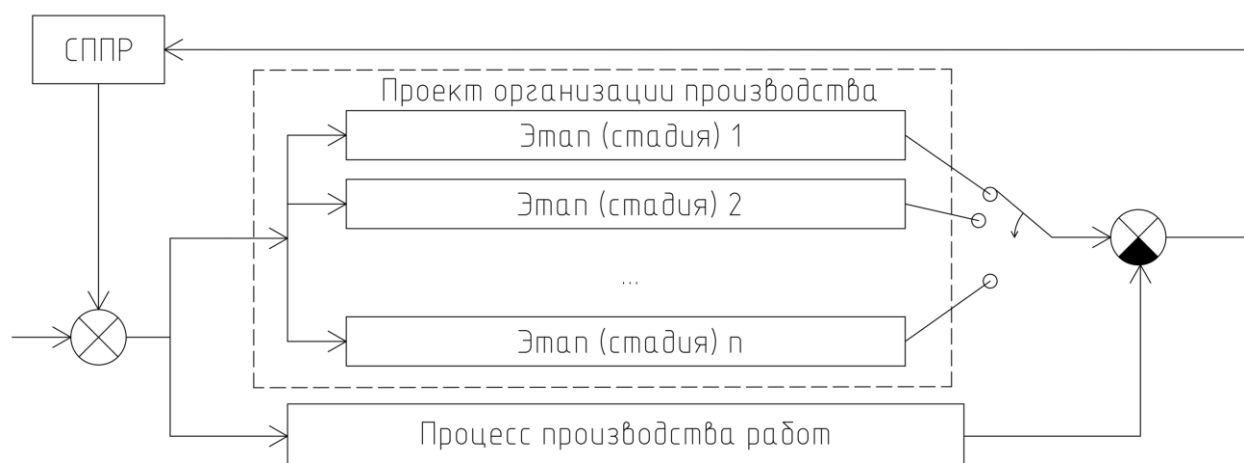


Рисунок 1.5 - Схема адаптивного управления с эталонной процессной моделью.

Суть проекта — совокупность действий определенной последовательности для достижения цели - созданию продукта, в т.ч. интеллектуального продукта. Для проектов характерно наличие конкретной цели, сроков выполнения отдельных задач, последовательность этапов и/или стадий, перечень определенных действий и планирование ресурсов, а также перечень ответственных исполнителей.

Рассмотрим подробнее эти теоретические положения на примере строительного производства. Строительство – отрасль экономики государства, от-

носящаяся к одной из основных, обеспечивающих качество жизни населения. Понятно, что при этом качество самого строительства является основным аспектом, определяющим и экономичность и комфортабельность и, соответственно востребованность сдаваемого строительного объекта. От уровня качества зависит безотказность и долговечность эксплуатации готового объекта [26].

Очень часто погоня за объемами в ущерб качеству приводит, наоборот, к удорожанию строительства, а затем и к увеличению эксплуатационных расходов. При этом могут снижаться удобство и комфорт для конечных пользователей строительного объекта вплоть до уровня аварийного состояния. С другой стороны, существуют технологии, удачно совмещающие большие объемы строительства жилья с довольно высоким его качеством. К таким технологиям можно отнести крупнопанельное домостроение [151,39].

В настоящее время система оценки качества строительства претерпевает значительные и довольно быстрые изменения. Это отражается изменением руководящих документов: прежние инструкции по оценке качества [84] и требования к обеспечиваемому качеству строительно-монтажных работ СНиП 3.01.01-85 заменены на СНиП 12-01-2004 [179], а на их основе созданы современные требования [179].

Понятно, что для определения эффективности проводимых мероприятий, повышающих качество строительства, необходимо каждый раз проверять их результативность, то есть оценивать изменения уровня качества как объекта строительства, так и проводимых работ [19,114,119,117]. Оценка качества строительства в целом осложняется тем, что оно интегрально складывается из степени детализации и соответствию требованиям нормативных актов (регламентов) проектной документации, качества строительных материалов и конструкций, соответствия строительно-монтажных работ рабочей документации и нормативным требованиям [99]. При этом последнее требует поэтапной проверки, начиная с земляных работ и монтажа «нулевого» цикла [2].

Рассматривая отдельно каждую составляющую этой совокупности, приходим к выводу, что, во-первых, проектная организация всегда осуществляет так называемый авторский надзор [176, 54,56] и является основной инстанци-



ей, контролирующей соблюдение строителями проектных решений и, соответственно, качественного уровня их реализации.

Во-вторых, качество строительных материалов, полуфабрикатов и изделий контролируется при производстве на предприятии [79, 91, 50, 27]. Дополнительно качество материалов может контролироваться и на входе строительной площадки [125, 192].

Понятно, что в связи с вышесказанным, одной из основных целей управления для руководителя строительства становится качество выполнения строительно-монтажных работ. Дополнительно его стимулирует к этому тот факт, что и заказчик осуществляет технический надзор. При этом он следит за соблюдением строителями сроков и объемов выполняемых работ и, конечно же, за обеспечением качества, как процессов, так и результатов.

Качество выполнения строительно-монтажных работ так же регламентируется строительными нормами и правилами, устанавливающими состав и порядок контроля, оформление скрытых работ, правила окончательной приемки работ и т. д., направленные на обеспечение высокого качества строительной продукции [165].

При производстве строительно-монтажных работ операционным контролем исполнитель проверяет:

- соответствие последовательности и состава выполняемых технологических операций технологической и нормативной документации;
- соблюдение технологических режимов, установленных технологическими картами и регламентами;
- соответствие показателей качества выполнения операций и их результатов требованиям проектной и технологической документации, а также распространяющейся на данные технологические операции нормативной документации.

Строительное производство – это не только функционирующее оборудование, но и определенная человеческая, коллективная деятельность. Следовательно, выполнение требований технологии строительства, обеспечение необходимого уровня качества строительной продукции, так же как и соблюде-

ние требований техники безопасности в процессе его осуществления зависят от выбора квалифицированных исполнителей, а так же от качества управления технологическими процессами. Эти два аспекта составляют структуру классической системы менеджмента качества [129,188,147,172,4,8,86].

Сюда же добавляется тот факт, что качество строительства является интегральной величиной и, соответственно, сложной в оценке и повышении настолько, что для достижения его заданного уровня необходимо специально создавать комплексную систему управления качеством [124,32,73,194,6,23]. В сфере строительства такие системы управления качеством активно разрабатываются и внедряются с начала двухтысячных годов [61,68,82,83,94,145,148].

Такая система целенаправленного повышения и поддержания качества на всех этапах любого производства обычно включает четыре обязательных подсистемы:

- директивного оформления комплекса требований к продукции;
- обеспечения установленного уровня качества при проектировании продукции;
- повышения и поддержания уровня качества при производстве продукции;
- обеспечение качества при эксплуатации продукции.

Последовательное функционирование этих подсистем обеспечивает необходимый уровень качества и в строительстве [173,183,185,184].

Для успешного управления необходимо, в первую очередь, совершенствовать систему оценки качества. Как упоминалось выше, ввиду сложности строительных объектов и процессов и участия в них производственного персонала, проблема оценки уровня качества обострена. Не случайно поэтому, предлагается обобщенное качество определять иерархией потребительских свойств (самых простых свойств, оцениваемых единичными показателями качества) в виде древовидной структуры [38].

Наряду с большим количеством потребительских качеств продукции, существует достаточно большое количество методов их оценки. Тем не менее,

у каждого метода есть свои достоинства и недостатки, определяемые свойствами, иерархия которых, приведена на схеме (см. Рисунок 1.6) [38].

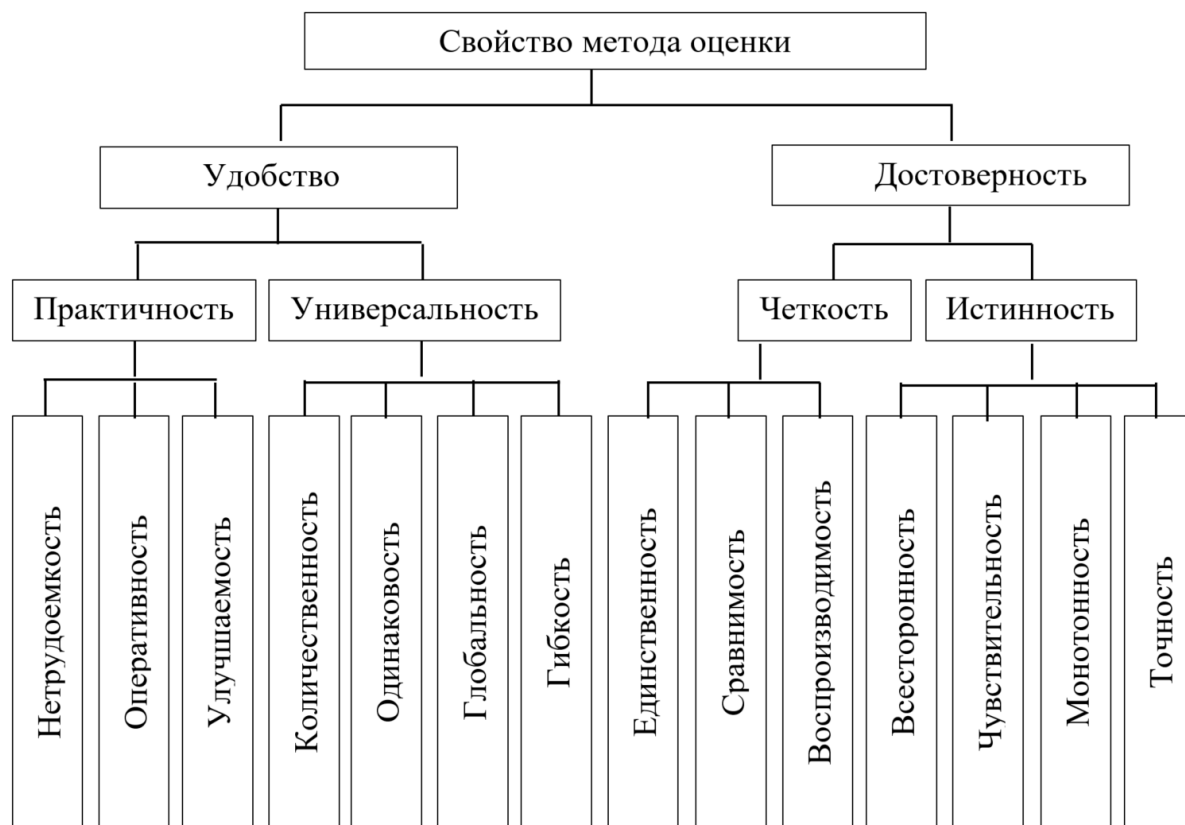


Рисунок 1.6 – Свойства, характеризующие достоинства метода оценки аспектов качества

Из достаточно полезных и практичных методов можно отметить метод бальной оценки (СН 378-67)

$$K = \frac{3M_1 + 4M_2 + 5M_3}{M_1 + M_2 + M_3} \quad (1.1)$$

где  $M_1, M_2, M_3$  – обозначено количество работ, получивших соответственно удовлетворительные, хорошие и отличные оценки. Оценки выставляются в соответствии с попаданием отклонений в предельно допустимые, средние и малые. Недостаток метода в том, что оценка производится по отклонениям, а не по установленным нормам.

Другой метод, устраняющий отмеченный недостаток оценивает соответствие продукции нормам [93]

$$K = 1 - H_0/H \quad (1.2)$$

где  $H$  – общее количество норм, входящих в оценку,  $H_0$  – количество нарушенных норм. Недостаток метода в отсутствии учета разной степени влия-

ния норм на обобщенное качество и разной степени имеющихся отклонений. Но даже при введении весовых коэффициентов оценка остается в большой степени качественной.

Оценку качества с привлечением экономических категорий предлагает следующий метод [171]

$$K = 1 - \frac{З_д + \Delta З_э}{C} \quad (1.3)$$

Здесь  $C$  – сметная себестоимость строительно-монтажных работ,  $З_д$  – затраты на устранение дефектов,  $\Delta З_э$  – потери, связанные с увеличенными эксплуатационными затратами из-за снижения качества строительной продукции. Недостаток такой оценки в неточности и трудности учета изменений во времени эксплуатационных затрат.

В работе [202] предложен универсальный метод, оценивающий качество через частные показатели производственного процесса: результативность, производительность, эффективность и ценность. Однако на практике такой критерий довольно сложно определять.

Перспективно применение комплексных показателей качества строительства, например как предложено в работе [38]:

$$\begin{cases} K_{\text{СМР}} = v K_{\text{СК}}^a (K_D K_T)^b (K_X K_S)^c (K_X K_S)^d \\ v = 0 \text{ при } K_R < K_R^{\text{lim}}, K_P < K_P^{\text{lim}} \end{cases} \quad (1.4)$$

Все коэффициенты в этой формуле обозначенные буквой  $K$  отражают какой-либо аспект качества или уровня соблюдения технологии. С точки зрения данного исследования интерес представляет  $v$  - коэффициент «вето», который обнуляет результат в случае недопустимых нарушений.

Из этой формулы следует, что чем выше значения коэффициентов, тем выше качество. На практике же повышение коэффициентов в формуле может быть сопряжено со значительными расходами. С другой стороны, в данную формулу пропорционально входит, например, показатель безопасности. Получается, что чем больше направляется затрат на мероприятия по технике безопасности работ, тем выше качество строительства, что противоречит здравому смыслу.

Качество сдаваемого строительного объекта во многом потенциально, то есть оно проявится лишь в будущем при эксплуатации. Поэтому напрямую эффект от повышения качества строительной продукции подсчитать довольно трудно, в силу многолетнего использования объектов строительного производства, комплексного их назначения и проводимых реконструкций. Однако этот аспект необходимо хотя бы приблизительно оценивать, поскольку строительство довольно затратная отрасль любого государства и повышение качества строительных объектов необходимо сочетать с обоснованной минимизацией затрат [64,199,201,175].

Другой проблемой, связанной с экономической оценкой, является выявление наиболее эффективных управленческих мероприятий (воздействий) в строительных процессах и объектах в момент их осуществления в отношении повышения качества строительства. Эти мероприятия можно разделить на три больших вида.

К первому виду воздействий, с помощью которых можно повысить качество строительства, можно отнести организационные [78,95,87,69,198,135].

Ко второму виду относятся структурные изменения в технологической и управленческой системах [149].

К третьему виду изменений отнесем изменение технологических режимов и параметров, напрямую связанных с качеством строительства [34,193].

Наконец, возможны и комплексные изменения всех перечисленных факторов [85,55,169,60,1,182,65]. Исторически исследования влияющих на качество строительства факторов начинались именно с комплексных, организационно-технологических мероприятий. Научные основы этого направления применительно к объектам строительства заложены в работах [90,29], а применительно к условиям заводского производства железобетонных конструкций в работе [30,181].

На основании выполненного обзора и анализа существующих методов оценки качества производства строительно-монтажных работ, выявлена недостаточность систематизации этого процесса. Отсутствуют достаточно про-

стые и вместе с этим точные и оперативно определяемые показатели качественного производства строительно-монтажных работ [17].

Размытое представление о контуре управления качеством производства строительно-монтажных работ снижает эффективность этого процесса, не позволяет ранжировать влияющие факторы.

Неполнота выявления управляющих воздействий, реализующих изменения объекта управления, и трудность оценки эффективности этих воздействий, не позволяет поставить и решить соответствующие задачи оптимального управления.

Сложность решаемых задач, большой объем обрабатываемой информации, необходимость обеспечивать быстроту и правильность принимаемых решений требуют широкого применения технологий информационного моделирования [24,16,10,115,113].

Семантическое наполнение термина технологии информационного модели практически полностью соответствует направлению BIM (Building Information Model или Modeling) технологии [162].

Несмотря на очевидные преимущества применения технологии информационного моделирования и практическое использование связано с определенными сложностями [47].

Поскольку строительный объект обычно стационарен, двигаться вокруг него приходится оборудованию и людям, организованным в специальную систему, называемую обычно строительной площадкой.

Строительная площадка имеет свою внутреннюю структуру, отвечающую выполнению ее функционального назначения, которая каждый раз на новом объекте возобновляется опять с нуля из-за привязки к специфике территории и объекта строительства[71].

Организационные методы повышения качества строительства, связанные с обустройством строительных площадок, исследовались в работах [37,131].

По мнению Ватутиной М.С. для максимизации результатов строительства на строительной площадке необходимо обеспечить единство трех составляющих надежности: людей, технологий и техники [53].

Как выяснено выше, в первую очередь строительная площадка должна обеспечивать соблюдение технологии при сохранении требуемого уровня безопасности, а так же достойное качество строительной продукции, при этом ее обустройство должно быть оптимальным по финансовым, временным и энергетическим затратам [156,98,155]. Конечно, технологическая система, под которой здесь можно понимать строительную площадку с оборудованием и персоналом, как объект, на котором реализуется технологический процесс строительства, должна быть надежной и для этого подчиняться уже существующим строгим требованиям. Наконец, технологическая система должна быть эффективной и это самое важное. Иногда говорят конкретно об экономической эффективности [25]. Однако здесь имеется некоторое различие во мнениях исследователей [51].

Проект сложной технологической системы должен удовлетворять требованиям по многим показателям [7]. Однако все эти показатели рассматриваются зачастую вне связи друг с другом и, как следствие, не согласованы друг с другом. Этот же момент мешает оценке эффективности применения технологий информационного моделирования [205].

Исходя из методологии [28] приведенной в предыдущем параграфе, на верхнем уровне определяемся с качеством строительства, востребованном в данный момент на конкретном региональном рынке, не забывая о возможностях строительной фирмы по обеспечению выбранного уровня. По выбранному уровню качества определяем экономические показатели – ассортимент и масштабы производства строительных работ по каждому из видов продукции. И только затем определяемся со строительной технологией, позволяющей обеспечить выбранные социальные и экономические показатели, создаем строительную площадку с необходимой структурой и определяемся с технологическими режимами.

Такая последовательность возможна лишь в начале организации нового строительства. Чаще объект и технология уже заданы и в качестве рычагов управления строительством остается организация самых благоприятных условий, выбор оптимальных структуры и параметров, то есть управление сосредотачивается в основном в границах строительной площадки. В качестве ограничений при этом выступают необходимости обеспечения заданного уровня промышленной и экологической безопасности.

Структурные преобразования связаны с компоновкой склада необходимых строительных материалов, подъездных путей, крановых путей, бытовок и так далее. Цель этих преобразований – оптимизация расположения элементов по различным критериям: минимизации длины подъездного пути, минимизация расстояния от склада до места монтажа, минимизация земляных работ при заданном рельефе местности и так далее. Понятно, что эта цель должна быть увязана в общую канву повышения качества производства строительномонтажных работ.

Параметрические изменения связаны с назначением скоростей движения транспорта, перемещения крана и крановой тележки, технологическими режимами монтажа и так далее. Цель данного уровня изменений так же оптимизация, подчиненная общей цели повышения качества строительства.

Иногда структурные изменения тесно связаны с параметрическими и тогда прибегают к термину структурно-параметрический синтез. Имея некоторый критерий оптимальности значений параметров объекта, решается задача отыскания оптимальной структуры моделируемого объекта среди возможных, то есть рассматриваются возможные решения задачи структурного синтеза и выбираются из них наиболее соответствующее критерию оптимальности. Таким образом, задача структурно-параметрического анализа формулируется в виде [63]:

$$\min_{X \in D} F_{ц}(\bar{X}), \quad (1.5)$$

где  $F_{ц}$  – целевая функция,  $D$  – дискретное множество возможных решений задачи структурного синтеза. Для решения подобных задач в комбинаторике существуют соответствующие методы, например, метод ветвей и границ,



хотя их применение на практике и встречается с определёнными трудностями. Чаще всего решений этой задачи может быть представлено некоторым множеством, эксперт-проектировщик выбирает лишь одно из них, полагаясь на свой опыт и знание предметной области.

Наконец, организационные изменения ввиду отнесения многих аспектов к ранее рассмотренным структурному и параметрическому уровням будем связывать лишь с обеспечением различных условий, способствующих общему повышению качества строительства. К таким условиям можно отнести удобство организации труда персонала, гарантированная достаточность (при одновременном отсутствии излишков) строительных материалов и инструментов, надежная работа монтажного оборудования и так далее.

Установлено, что воздействия на объект управления являются трехаспектными: параметрическими, структурными и организационными, поэтому необходимо провести исследование и выявить алгоритмы, позволяющие максимизировать эффективность управления качеством производства строительно-монтажных работ на строительной площадке. На практике самым важным организующим аспектом применения технологии информационного моделирования является календарное планирование [152, 166, 18].

### **1.5 Вероятностное описание поведения многопроцессной системы.**

Актуальность вероятностного описания в нашем исследовании обусловлена отсутствием детерминированности его основных компонент: технологического оборудования и персонала. Технологическое оборудование характеризуется определенным уровнем надежности, оцениваемым вероятностью. Предсказуемость поведения персонала также можно оценить только вероятно.

Большую часть неопределенности вносит рынок поскольку продукт многопроцессной системы должен быть на нем реализован.

Вероятностное описание рыночных процессов встречается в литературе довольно часто [161, 122, 49].

Эффективность процессов управления многопроцессными производственными системами также оценивалась на основе Марковских моделей уравнения Колмогорова [11, 177, 42, 52, 200, 176, 161].

Вероятностный подход в самом чистом виде реализуется в имитационных моделях [176].

Таким образом, вероятностные инструменты являются часто и широко используемыми в экономических исследованиях, а Марковские модели, несмотря на первое приближение, позволяют выявлять основные тенденции.

Рассматривая многопроцессную систему как метасистему [140] приходим к тому выводу, что главной задачей в соединении процессов является третья задача метасистемного подхода об оценке и управлении готовностью систем к использованию. В работе [161] предлагается оценивать готовность производственных систем вероятностью реализации их функций в данный момент времени. Тогда появляется возможность в первом приближении (Марковский подход) ставить и решать задачи оптимального управления на основе уравнений ФПК (Фоккера-Планка-Колмогорова).

## **1.6 Цель и задачи исследования.**

Многопроцессная система состоит из отдельных процессов как элементов и реализуется путем их соединения. На основании выполненного обзора и анализа существующих методов управления соединением производственных процессов выявлена недостаточность систематизации этой процедуры.

В литературе преобладает аналитический подход, при котором предполагается улучшение или оптимизация каждой технологической единицы по отдельности, преимущественно без учета взаимодействия между ними.

Поскольку в производственных многопроцессных системах составляющие технологические процессы обычно достаточно отработаны, «узким местом» остается их согласованное соединение. В соответствии с этим поставлена цель исследования.

**Целью работы** является разработка критериев и моделей, повышающих

эффективность процедуры соединения процессов в многопроцессной системе, а также постановка и решение задач оптимального управления этой процедурой.

Для достижения поставленной цели необходимо решить следующие задачи:

- исследовать управление процедурой соединения процессов на основе многоуровневой модели.
- выявить структуру процедуры соединения процессов;
- провести системный анализ механизмов соединения процессов в многопроцессной системе;
- определить оптимальные зависимости при реализации различных механизмов соединения процессов в реальной производственной системе.

## **ГЛАВА 2 . СИСТЕМНЫЙ ПОДХОД К УПРАВЛЕНИЮ СОЕДИНЕНИЕМ ПРОЦЕССОВ**

Во второй главе выявляются особенности многоуровневого моделирования управления соединением процессов. Разработана обобщенная пятиуровневая схема, включающая компонентный, системный, процессный, экономический и социальный уровни. Само соединение предлагается осуществлять в два этапа. На первом этапе процессы готовятся к соединению, на втором согласуются параметры процессов при реальном соединении.

### **2.1 Многоуровневая модель системы управления соединением процессов**

Будем рассматривать многопроцессные системы создающие, как правило, сложные объекты (продукты), требующие предварительного проектирования. Поэтому верхний уровень моделирует реализацию такого проекта с изготовлением продукта, а в качестве управляемой величины принимается эффективность удовлетворения социальной потребности в нем (см. Рисунок 2.1).

На самом нижнем уровне (компонентном) этой схемы располагаются процессы-компоненты. Основной задачей на этом уровне является выбор таких процессов-компонентов, потенциал которых максимально согласуется с целью функционирования многопроцессной системы.

На втором (интеграционном) уровне целью процессного согласования являются организация необходимых взаимосвязей (структуры) между процессами-компонентами.

На третьем (динамическом) уровне функционирующие компоненты-процессы согласуются по объёму и скорости производства продуктов (по интенсивности потоков).

На четвёртом уровне (экономическое сопровождение) согласование процессов рационализируется. Поскольку самыми лучшими критериями при этом являются время и финансы лучше всего проводить это согласование экономическими методами и инструментами.

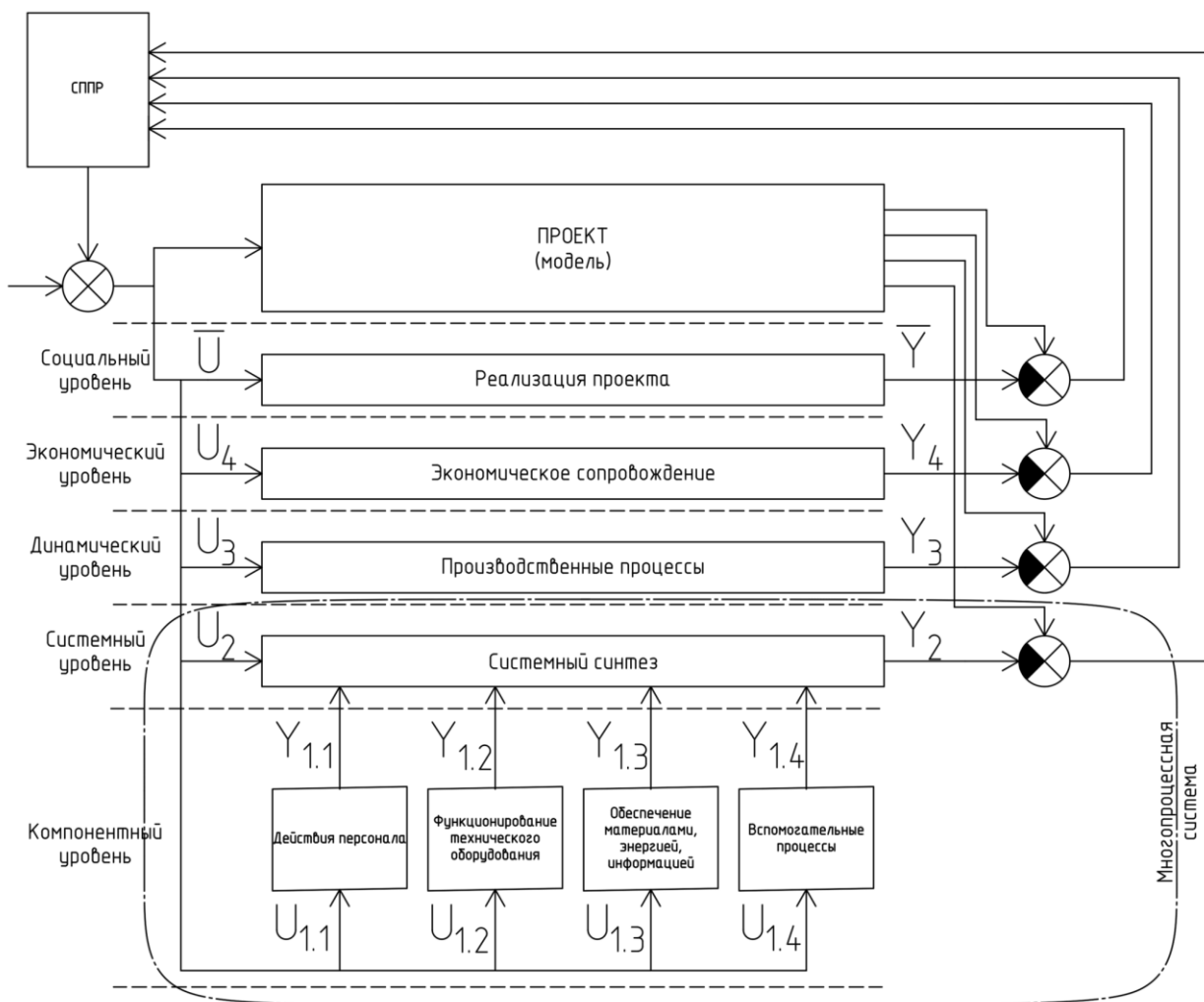


Рисунок 2.1 – Многоуровневое моделирование соединений процессов в много-процессной системе

На пятом (социальном) уровне функционирование многопроцессной системы согласуется с социальными потребностями, выражаемыми рынком, актуальными тенденциями, модой. При этом самая важная функция этого уровня не допускать социально неприемлемых решений.

В качестве главного показателя, оценивающего функционирование многопроцессной системы целесообразно принять эффективность. При этом под эффективностью функционирования многопроцессной системы понимается комплексный показатель, отражающий три аспекта: целерезультативность, ресурсозатратность, оперативность.

Однако такой подход может не учитывать некоторые важные практические аспекты, например, требуемый при достижении цели уровень безопасности, качества получаемого продукта и др. Количественно указанные недостат-

ки можно формировать в виде ограничений, введением коэффициента, накладывающего вето.

Эффективность процедуры соединения процессов в многопроцессной системы (ЭПСП) -  $K_{\text{ЭПСП}}$  предлагается определять по формуле:

$$\begin{cases} K_{\text{ЭПСП}} = \nu \cdot K_{\text{Ц}}^{\alpha_1} \cdot K_{\text{Р}}^{\alpha_2} \cdot K_{\text{О}}^{\alpha_3} \\ \nu = 0 \text{ при } K_{\text{Б}} < K_{\text{Б}}^{\text{lim}}, S_{\text{T}} \neq S_{\text{T}}^{\text{зад}} \\ \nu = 1 \text{ при } K_{\text{Б}}, S_{\text{T}} \rightarrow \text{проект.} \end{cases} \quad (2.1)$$

Здесь  $K_{\text{Ц}}$ ,  $K_{\text{Р}}$ ,  $K_{\text{О}}$  – коэффициенты, целерезультативности, ресурсозатратности и оперативности;  $\nu$  – коэффициент вето;  $\alpha_1$ ,  $\alpha_2$ ,  $\alpha_3$  – весовые коэффициенты;  $K_{\text{Б}}, K_{\text{Б}}^{\text{lim}}$  – коэффициенты текущего уровня безопасности;  $S_{\text{T}}$  – структура технологических операций;  $S_{\text{T}}^{\text{зад}}$  – заданная технологическая структура.

Коэффициент «вето» не допускает никаких структурных изменения технологии и нарушения требований техники безопасности.

Применительно к многоуровневой схеме можно разделить оценку коэффициентов в формуле по уровням. Целерезультативность в основном формируется на верхнем социальном уровне, ресурсозатратность на экономическом, а на процессном уровне должны оцениваться своевременность технологических операций и качество их проведения, которое обусловлено соблюдением технологических режимов.

Из анализа схемы (см. Рисунок 2.1) можно сделать другой вывод. Поскольку оценка показателей на трех верхних уровнях определена выше и должна задаваться проектом, дополнительное исследование требуется для оценки вклада системного уровня. Учитывая многопроцессный характер системы ее вклад может быть обусловлен свойствами компонент–процессов и связями между ними. Свойства компонент-процессов обусловлены заранее заданными технологиями. Поэтому данное исследование акцентируется на связях (соединениях) компонент-процессов [112].

## 2.2 Оптимальное управление согласованием процессов по вероятностному критерию

Управление соединением процессов целесообразно разбить на два этапа (см. Рисунок 2.2). На первом этапе необходимо подготавливать условия согласованного соединения процессов (повышать готовность процессов к соединению). На втором – целью управления становится контроль показателей процессов при их непосредственной реализации (соединении). На диаграмме (см. Рисунок 2.2) представлены взаимосвязи процессов, отвечающих за подготовку к соединению и контроль реального соединения.

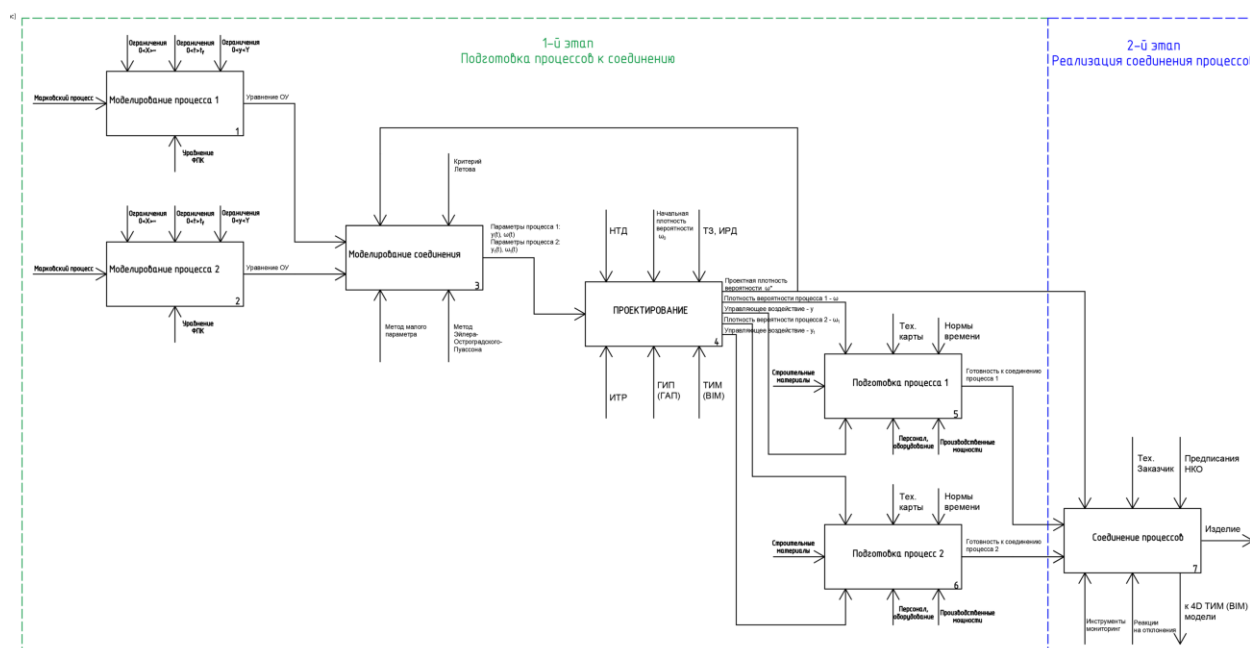


Рисунок 2.2 – IDEF0-диаграмма двухэтапного соединения процессов.

В общем случае любой производственный процесс является в определенной мере случайным (например, связан с встроенным в производственную цепочку персоналом) и требует вероятностного описания и вероятностных критериев. Воспользуемся для этого описания аппаратом первого вероятностного приближения в виде марковского процесса. При этом можно рассмотреть схему, при которой один процесс выбирает другой процесс целью слежения и управление для него реализуется как в следящей системе. При этом второй процесс готовится к встрече (или в зависимости от задачи настраивается на избегание этой встречи). Выберем более частый случай, когда оба процесса должны выходить на согласованный заранее параметр.

В самом общем случае можно рассмотреть схему, при которой один процесс выбирает другой целью слежения и управление для него реализуется точно также, как в следящей системе (см. Рисунок 2.3). Второй, согласуемый с ним процесс, готовится к встрече (или в зависимости от задачи настраивается на избегание этой встречи), что показано схеме (см. Рисунок 2.3) пунктирной стрелкой. В этом случае оба процесса будут усложнять управление друг другу.

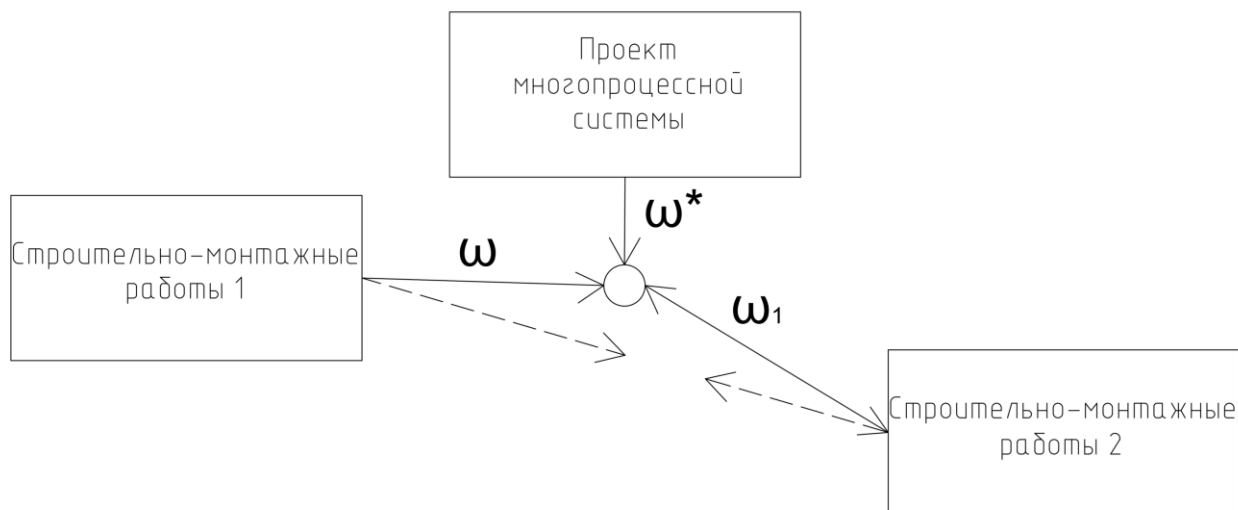


Рисунок 2.3 – Схемы вероятностного соединения процессов

Поскольку готовность процессов к соединению оценивается вероятностью выполнения процессами своих функций для математического описания выберем аппарат теории вероятности, а точнее воспользуемся первым приближением в виде Марковского процесса.

Для исключения фактора «соревновательности» процессов, описанного выше, воспользуемся проектными значениями показателей как реперными точками для их стыковки.

Пусть проектом задается некоторый показатель, требующий согласования, например, интенсивность потока. Обеспечение требуемой интенсивности задает необходимую по проекту плотность вероятности соединения двух процессов. К ней должны стремиться плотность вероятности обеспечения заданной интенсивности потока (перерабатываемого сырья, материалов, обрабатываемой информации, изготавливаемых или собираемых изделий и так далее) первого процесса  $\omega$  и плотность вероятности готовности второго процесса  $\omega_1$ . принять этот поток.



Проектом задается достаточная для стыковки двух процессов плотность вероятности  $\omega_0^*$ , например по интенсивности потока, задаваемой координатой  $x$ , изменяющейся во времени  $t$ . При выполнении условия марковости процесса плотность описанной вероятности  $\omega_0^*$  должна подчиняться уравнению Фоккера-Планка-Колмогорова:

$$\frac{\partial \omega_0^*}{\partial t} = -a_0 \frac{\partial \omega_0^*}{\partial x} + \frac{b_0}{2} \frac{\partial^2 \omega_0^*}{\partial x^2} \quad (2.2)$$

где  $a_0$  – коэффициент сноса,  $b_0$  – коэффициент диффузии.

Уравнение  $\frac{\partial \omega_0^*}{\partial t} = -a_0 \frac{\partial \omega_0^*}{\partial x} + \frac{b_0}{2} \frac{\partial^2 \omega_0^*}{\partial x^2}$  (2.2) - парабо-

лическое и с помощью подстановки Тихонова-Самарского [191]

$$\omega_0^* = e^{\mu x + \lambda t} \cdot \omega^*(x, t), \quad \mu = a_0/b_0 \quad \lambda = -a_0^2/2b_0 \quad (2.3)$$

приводится к каноническому виду

$$\frac{\partial \omega^*}{\partial t} = b^* \frac{\partial^2 \omega^*}{\partial x^2} \quad (2.4)$$

Заметим теперь, что дальше мы будем иметь дело с преобразованной вероятностью, описываемой этим уравнением.

Похожему уравнению должен подчиняться и первый и второй соединяемые процессы, но коэффициенты сноса и диффузии будут другими. Тогда первый процесс в канонической форме описывается уравнением

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = b_1^* \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \quad (2.5)$$

где  $\omega$  – плотность вероятности того, что этот процесс достигнет заданной координаты  $x$  в заданный момент времени  $t_f$ . Как видим из уравнения, возможно только мультипликативное параметрическое управление таким объектом и затруднено координатное [79, 62, 166]. Вводя управляющее воздействие у преобразуем уравнение к виду

$$\frac{\partial \omega}{\partial t} = b y \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \quad (2.6)$$

Аналогично выводится уравнение для второго процесса

$$\frac{\partial \omega_1}{\partial t} = b_1 y_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \quad (2.7)$$

Задача оптимального управления в данном случае может быть сведена к минимизации различия плотностей вероятностей, подчиняющихся уравнениям и по отношению к проектной, точно так же как и управленческие затраты, направленные на приближение коэффициентов диффузии к задаваемому проектом.

Воспользуемся методом аналитического конструирования регуляторов профессора Летова А.М. [125, 36]. В соответствующий с ним в минимизируемый функционал включается критерий качества управления в виде суммы квадрата потерь от недостаточности управления, описываемый разностью плотностей вероятностей, введенных выше, и квадрата затрат на управление, снижающее эти потери.

$$F = \int_0^{t_f} \int_0^\infty (q(\omega^* - \omega)^2 + q(\omega^* - \omega_1)^2 + (b^* - by)^2 + (b^* - b_1 y_1)^2) dx dt \rightarrow \min \quad (2.8)$$

где  $q$  – постоянный коэффициент,  $t_f$  – время окончания управления.

Составим лагранжиан, в который входит как подынтегральная функция из  $F = \int_0^{t_f} \int_0^\infty (q(\omega^* - \omega)^2 + q(\omega^* - \omega_1)^2 + (b^* - by)^2 + (b^* - b_1 y_1)^2) dx dt \rightarrow \min$  (2.8),

так и уравнения состояния объектов управления – и с использованием двух коэффициентов Лагранжа  $\psi$  и  $\psi_1$

$$L = q(\omega^* - \omega)^2 + q(\omega^* - \omega_1)^2 + (b^* - by)^2 + (b^* - b_1 y_1)^2 + \psi \left( by \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \frac{\partial \omega}{\partial t} \right) + \psi_1 \left( b_1 y_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} - \frac{\partial \omega_1}{\partial t} \right) \rightarrow \min \quad (2.9)$$

Поскольку в Лагранжиан вошли вторые производные по  $x$  для минимизации необходимо воспользоваться уравнениями Эйлера-Остроградского-Пуассона [207]

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial \omega} - \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\omega}} \right) - \frac{d}{dx} \left( \frac{\partial L}{\partial \omega'_x} \right) + \frac{d^2}{dx^2} \left( \frac{\partial L}{\partial \omega''_x} \right) = \\ -2q(\omega^* - \omega) + \dot{\psi} + by \frac{d^2 \psi}{dx^2} + 2b \frac{dy}{dx} \frac{d\psi}{dx} + b\psi \frac{d^2 y}{dx^2} = 0 \\ -2q(\omega^* - \omega_1) + \dot{\psi}_1 + b_1 y_1 \frac{d^2 \psi_1}{dx^2} + 2b_1 \frac{dy_1}{dx} \frac{d\psi_1}{dx} + b_1 \psi_1 \frac{d^2 y_1}{dx^2} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \psi} = by \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0 \\ b_1 y_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} - \frac{\partial \omega_1}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial y} = -2b(b^* - by) + b\psi \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = 0 \\ -2b_1(b^* - b_1 y_1) + b_1 \psi_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} = 0 \end{array} \right. \quad (2.10)$$

Из последних двух уравнений выделим управляющие воздействия

$$\left\{ \begin{array}{l} y = \frac{b^*}{b} - \frac{\psi}{2b} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \\ y_1 = \frac{b^*}{b_1} - \frac{\psi_1}{2b_1} \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \end{array} \right. \quad (2.11)$$

Подставим полученные выражения в первые четыре уравнения системы

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial L}{\partial \omega} - \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{\omega}} \right) - \frac{d}{dx} \left( \frac{\partial L}{\partial \omega'_x} \right) + \frac{d^2}{dx^2} \left( \frac{\partial L}{\partial \omega''_x} \right) = \\ -2q(\omega^* - \omega) + \dot{\psi} + by \frac{d^2 \psi}{dx^2} + 2b \frac{dy}{dx} \frac{d\psi}{dx} + b\psi \frac{d^2 y}{dx^2} = 0 \\ -2q(\omega^* - \omega_1) + \dot{\psi}_1 + b_1 y_1 \frac{d^2 \psi_1}{dx^2} + 2b_1 \frac{dy_1}{dx} \frac{d\psi_1}{dx} + b_1 \psi_1 \frac{d^2 y_1}{dx^2} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial \psi} = by \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \frac{\partial \omega}{\partial t} = 0 \\ b_1 y_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} - \frac{\partial \omega_1}{\partial t} = 0 \\ \frac{\partial L}{\partial y} = -2b(b^* - by) + b\psi \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} = 0 \\ -2b_1(b^* - b_1 y_1) + b_1 \psi_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} = 0 \end{array} \right. \quad (2.10):$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \psi}{\partial t} = -b \left( \frac{b^*}{b} - \frac{\psi}{2b} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right) \frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{d\psi}{dx} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \frac{d\psi}{dx} + \frac{\psi}{2} \frac{d^2 \psi}{dx^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + 2q(\omega^* - \omega) \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial t} = -b_1 \left( \frac{b^*}{b_1} - \frac{\psi_1}{2b_1} \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \right) \frac{d^2 \psi_1}{dx^2} + \frac{d\psi_1}{dx} \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \frac{d\psi_1}{dx} + \frac{\psi_1}{2} \frac{d^2 \psi_1}{dx^2} \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} + 2q(\omega^* - \omega_1) \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} = b^* \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \frac{\psi}{2} \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right)^2 \\ \frac{\partial \omega_1}{\partial t} = b^* \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} - \frac{\psi_1}{2} \left( \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \right)^2 \end{array} \right. \quad (2.12)$$

Производя дифференцирование и раскрывая скобки в первом уравнении,

имеем

$$\frac{\partial \psi}{\partial t} = -b^* \frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{\psi}{2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \frac{d^2 \psi}{dx^2} + \left( \frac{d\psi}{dx} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + \psi \frac{\partial^3 \omega}{\partial x^3} \right) \frac{d\psi}{dx} + \frac{\psi}{2} \left( \frac{d^2 \psi}{dx^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + 2 \frac{d\psi}{dx} \frac{\partial^3 \omega}{\partial x^3} + \psi \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} \right) + 2q(\omega^* - \omega) \quad (2.13)$$

Группируя одинаковые слагаемые, вернемся к системе двух уравнений

$$\begin{cases} \frac{\partial \psi}{\partial t} = -b^* \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \psi \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \left( \frac{\partial \psi}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + 2\psi \frac{\partial^3 \omega}{\partial x^3} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\psi^2}{2} \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2q(\omega^* - \omega) \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial t} = -b^* \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x^2} + \psi_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x^2} + \left( \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} + 2\psi_1 \frac{\partial^3 \omega_1}{\partial x^3} \frac{\partial \psi_1}{\partial x} + \frac{\psi_1^2}{2} \frac{\partial^4 \omega_1}{\partial x^4} + 2q(\omega^* - \omega_1) \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} = b^* \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \frac{\psi}{2} \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right)^2 \\ \frac{\partial \omega_1}{\partial t} = b^* \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} - \frac{\psi_1}{2} \left( \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \right)^2 \end{cases} \quad (2.14)$$

Применим для решения этой системы метод малого параметра [43, 9], для чего разложим переменные

$$\begin{cases} \psi = \psi' + \lambda \psi'' + \lambda^2 \psi''' + \dots \\ \omega = \omega' + \lambda \omega'' + \lambda^2 \omega''' + \dots \end{cases} \quad (2.15)$$

Подставляем это разложение в

$$\begin{cases} \frac{\partial \psi}{\partial t} = -b^* \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \psi \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \psi}{\partial x^2} + \left( \frac{\partial \psi}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + 2\psi \frac{\partial^3 \omega}{\partial x^3} \frac{\partial \psi}{\partial x} + \frac{\psi^2}{2} \frac{\partial^4 \omega}{\partial x^4} + 2q(\omega^* - \omega) \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial t} = -b^* \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x^2} + \psi_1 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \psi_1}{\partial x^2} + \left( \frac{\partial \psi_1}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} + 2\psi_1 \frac{\partial^3 \omega_1}{\partial x^3} \frac{\partial \psi_1}{\partial x} + \frac{\psi_1^2}{2} \frac{\partial^4 \omega_1}{\partial x^4} + 2q(\omega^* - \omega_1) \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} = b^* \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \frac{\psi}{2} \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right)^2 \\ \frac{\partial \omega_1}{\partial t} = b^* \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} - \frac{\psi_1}{2} \left( \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \right)^2 \end{cases} \quad (2.14),$$

переносим линейное первое слагаемое в левую часть, а остальные, предварительно умноженные на  $\lambda$ , в правую часть уравнений. Собирая все слагаемые с одинаковой степенью  $\lambda$ , получим первые две системы уравнений приближения

$$\begin{cases} \frac{\partial \psi'}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi'}{dx^2} = 0 \\ \frac{\partial \psi_1'}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi_1'}{dx^2} = 0 \\ \frac{\partial \omega'}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega'}{\partial x^2} = 0 \\ \frac{\partial \omega_1'}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega_1'}{\partial x^2} = 0 \end{cases} \quad (2.16)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \psi''}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi''}{dx^2} &= \psi' \frac{\partial^2 \omega'}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \psi'}{\partial x^2} + \left( \frac{\partial \psi'}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial^2 \omega'}{\partial x^2} + 2\psi' \frac{\partial^3 \omega'}{\partial x^3} \frac{\partial \psi'}{\partial x} + \frac{\psi'^2}{2} \frac{\partial^4 \omega'}{\partial x^4} + 2q(\omega^* - \omega') \\ \frac{\partial \psi_1''}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi_1''}{dx^2} &= \psi_1' \frac{\partial^2 \omega_1'}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \psi_1'}{\partial x^2} + \left( \frac{\partial \psi_1'}{\partial x} \right)^2 \frac{\partial^2 \omega_1'}{\partial x^2} + 2\psi_1' \frac{\partial^3 \omega_1'}{\partial x^3} \frac{\partial \psi_1'}{\partial x} + \frac{(\psi_1')^2}{2} \frac{\partial^4 \omega_1'}{\partial x^4} + \\ &\quad 2q(\omega^* - \omega_1') \\ \frac{\partial \omega''}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega''}{\partial x^2} &= -\frac{\psi'}{2} \left( \frac{\partial^2 \omega'}{\partial x^2} \right)^2 \\ \frac{\partial \omega_1''}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega_1''}{\partial x^2} &= -\frac{\psi_1'}{2} \left( \frac{\partial^2 \omega_1'}{\partial x^2} \right)^2 \end{aligned} \right. \quad (2.17)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \psi'}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi'}{dx^2} &= 0 \\ \frac{\partial \psi_1'}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi_1'}{dx^2} &= 0 \\ \frac{\partial \omega'}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega'}{\partial x^2} &= 0 \\ \frac{\partial \omega_1'}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega_1'}{\partial x^2} &= 0 \end{aligned} \right.$$

Первое уравнение в системе

(2.16) решаем методом разделения переменных

$$\psi' = p(x) \cdot v(t) \quad (2.18)$$

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial \psi'}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi'}{dx^2} &= 0 \\ \frac{\partial \psi_1'}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi_1'}{dx^2} &= 0 \\ \frac{\partial \omega'}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega'}{\partial x^2} &= 0 \\ \frac{\partial \omega_1'}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega_1'}{\partial x^2} &= 0 \end{aligned} \right.$$

Подставляя это выражение в первое уравнение

(2.16) и разделяя переменные имеем

$$\frac{1}{v} \frac{\partial v}{\partial t} = -b^* \frac{1}{p} \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} = M \quad (2.19)$$

Получаем систему двух дифференциальных уравнений

$$\left\{ \begin{aligned} \frac{\partial v}{\partial t} - Mv &= 0 \\ \frac{\partial^2 p}{\partial x^2} + \frac{M}{b^*} p &= 0 \end{aligned} \right. \quad (2.20)$$

Решение находим в справочнике [13]

$$\left\{ \begin{aligned} v &= C_1^* \exp(Mt) \\ p &= C_2^* \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right) \end{aligned} \right. \quad (2.21)$$

Подставляя полученное решение в получим

$$\psi' = C_1 \exp(Mt) \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right) \quad (2.22)$$

$$\begin{cases} \frac{\partial \psi'}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi'}{dx^2} = 0 \\ \frac{\partial \psi_1'}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi_1'}{dx^2} = 0 \\ \frac{\partial \omega'}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega'}{\partial x^2} = 0 \\ \frac{\partial \omega_1'}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega_1'}{\partial x^2} = 0 \end{cases}$$

Аналогично решается третье уравнение системы

(2.16)

$$\omega' = C_2 \exp(Mt) \operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right) \quad (2.23)$$

Подставляем теперь полученные решения в первое уравнение системы второго приближения

$$\begin{cases} \frac{\partial \psi''}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi''}{dx^2} = \psi' \frac{\partial^2 \omega'}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \psi'}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial \psi'}{\partial x}\right)^2 \frac{\partial^2 \omega'}{\partial x^2} + 2\psi' \frac{\partial^3 \omega'}{\partial x^3} \frac{\partial \psi'}{\partial x} + \frac{\psi'^2}{2} \frac{\partial^4 \omega'}{\partial x^4} + 2q(\omega^* - \omega') \\ \frac{\partial \psi_1''}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi_1''}{dx^2} = \psi_1' \frac{\partial^2 \omega_1'}{\partial x^2} \frac{\partial^2 \psi_1'}{\partial x^2} + \left(\frac{\partial \psi_1'}{\partial x}\right)^2 \frac{\partial^2 \omega_1'}{\partial x^2} + 2\psi_1' \frac{\partial^3 \omega_1'}{\partial x^3} \frac{\partial \psi_1'}{\partial x} + \frac{(\psi_1')^2}{2} \frac{\partial^4 \omega_1'}{\partial x^4} + \\ 2q(\omega^* - \omega_1') \\ \frac{\partial \omega''}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega''}{\partial x^2} = -\frac{\psi'}{2} \left(\frac{\partial^2 \omega'}{\partial x^2}\right)^2 \\ \frac{\partial \omega_1''}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega_1''}{\partial x^2} = -\frac{\psi_1'}{2} \left(\frac{\partial^2 \omega_1'}{\partial x^2}\right)^2 \end{cases} \quad (2.17)$$

$$\begin{aligned} \frac{\partial \psi''}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi''}{dx^2} = & -C_1^2 C_2 \exp(Mt) \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b_0^*}} x\right) \frac{M^2}{b^{*2}} \exp(Mt) \operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right) \exp(Mt) \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right) + \\ & \left(C_1 \exp(Mt) \cos\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right)\right)^2 C_2 \frac{M^2}{b_0^{*2}} \exp(Mt) \operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right) + \\ & 2C_1^2 C_2 \exp(Mt) \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right) \exp(Mt) \frac{M^2}{b^{*2}} \operatorname{ch}\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right) \exp(Mt) \cos\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right) + \\ & \frac{1}{2} \left(C_1 \exp(Mt) \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right)\right)^2 \exp(Mt) C_2 \left(\frac{M}{b^*}\right)^2 \operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right) + 2q\left(\omega^* - \right. \\ & \left. C_2 \exp(Mt) \operatorname{sh}\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}} x\right)\right) \end{aligned} \quad (2.24)$$

Выделяя общие сомножители, возвращаемся к системе четырех уравнений

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \psi''}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi''}{dx^2} = -C_1^2 C_2 \left(\frac{M}{b^*}\right)^2 \exp^3(Mt) \left[ \frac{1}{2} sh\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \sin^2\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) - sh\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \cos^2\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \right. \\ \left. - 2ch\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \cos\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \right] + 2q\left(\omega^* - C_2 \exp(Mt) sh\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right)\right) \\ \frac{\partial \psi_1''}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi_1''}{dx^2} = -C_3^2 C_4 \left(\frac{M_1}{b^*}\right)^2 \exp^3(M_1 t) \left[ \frac{3}{2} sh\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \sin^2\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) - sh\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \cos^2\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \right. \\ \left. - 2ch\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \sin\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \cos\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \right] + 2q\left(\omega^* - C_2 \exp(M_1 t) sh\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right)\right) \\ \frac{\partial \omega''}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega''}{\partial x^2} = -\frac{1}{2} C_1 C_2^2 \left(\frac{M}{b^*}\right)^2 \exp^3(Mt) \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) sh^2\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \\ \frac{\partial \omega_1''}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega_1''}{\partial x^2} = -\frac{1}{2} C_3 C_4^2 \left(\frac{M_1}{b^*}\right)^2 \exp^3(Mt) \sin\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) sh^2\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \end{array} \right. \quad (2.25)$$

Общее решение этих уравнений складывается из решения соответствующей

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \psi'}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi'}{dx^2} = 0 \\ \frac{\partial \psi_1'}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi_1'}{dx^2} = 0 \\ \frac{\partial \omega'}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega'}{\partial x^2} = 0 \\ \frac{\partial \omega_1'}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega_1'}{\partial x^2} = 0 \end{array} \right. \quad (2.16) \quad \text{и} \quad \text{частных}$$

решений, которые ищутся в виде правой части

$$\left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \psi''}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi''}{dx^2} = -C_1^2 C_2 \left(\frac{M}{b^*}\right)^2 \exp^3(Mt) \left[ \frac{1}{2} sh\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \sin^2\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) - sh\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \cos^2\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \right. \\ \left. - 2ch\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \cos\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \right] + 2q\left(\omega^* - C_2 \exp(Mt) sh\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right)\right) \\ \frac{\partial \psi_1''}{\partial t} + b^* \frac{d^2 \psi_1''}{dx^2} = -C_3^2 C_4 \left(\frac{M_1}{b^*}\right)^2 \exp^3(M_1 t) \left[ \frac{3}{2} sh\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \sin^2\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) - sh\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \cos^2\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \right. \\ \left. - 2ch\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \sin\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \cos\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \right] + 2q\left(\omega^* - C_2 \exp(M_1 t) sh\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right)\right) \\ \frac{\partial \omega''}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega''}{\partial x^2} = -\frac{1}{2} C_1 C_2^2 \left(\frac{M}{b^*}\right)^2 \exp^3(Mt) \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) sh^2\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \\ \frac{\partial \omega_1''}{\partial t} - b^* \frac{\partial^2 \omega_1''}{\partial x^2} = -\frac{1}{2} C_3 C_4^2 \left(\frac{M_1}{b^*}\right)^2 \exp^3(Mt) \sin\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) sh^2\left(\sqrt{\frac{M_1}{b^*}}x\right) \end{array} \right. \quad (2.25).$$

$$\left\{ \begin{array}{l} \psi_1^{\text{частн}} = \exp(3Mt) \left[ A \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \cos\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) ch\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) + B \sin^2\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) sh\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \right. \\ \left. + D \cos^2\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) sh\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \right] + F \exp(Mt) sh\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) + 2q\omega^* t \\ \omega_1^{\text{частн}} = \exp(3Mt) \left[ G \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) sh^2\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) + H \cos\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) sh\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) ch\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \right. \\ \left. + J \sin\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) ch^2\left(\sqrt{\frac{M}{b^*}}x\right) \right] \end{array} \right. \quad (2.26)$$

Эти выражения должны удовлетворять уравнениям

$$\left\{ \begin{array}{l} 4B - 4D = 2C_1^2 C_2 \frac{M}{b^{*2}} \\ 2D + 2A + 2B = C_1^2 C_2 \frac{M}{b^{*2}} \\ 2B - 2A + 2D = -\frac{1}{2} C_1^2 C_2 \frac{M}{b^{*2}} \\ 2MF = -2qC_2 \end{array} \right. \text{или} \left\{ \begin{array}{l} A = \frac{6}{16} C_1^2 C_2 \frac{M}{b^{*2}} \\ B = \frac{5}{16} C_1^2 C_2 \frac{M}{b^{*2}} \\ D = -\frac{3}{16} C_1^2 C_2 \frac{M}{b^{*2}} \\ F = -\frac{2qC_2}{M} \end{array} \right. \quad (2.27)$$

Окончательно

$$\left\{ \begin{array}{l} 4G - 2H + J = -\frac{1}{2} C_1 C_2^2 \left(\frac{M}{b^*}\right)^2 \\ 6H + 4G + 4J = 0 \\ 4J + 2G - 2H = 0 \end{array} \right. \text{или} \left\{ \begin{array}{l} G = \frac{1}{10} C_1 C_2^2 \left(\frac{M}{b^*}\right)^2 \\ H = \frac{1}{15} C_1 C_2^2 \left(\frac{M}{b^*}\right)^2 \\ J = -\frac{1}{90} C_1 C_2^2 \left(\frac{M}{b^*}\right)^2 \end{array} \right. \quad (2.28)$$

Из проведенного теоретического анализа можно сделать выводы:

- 1) при оптимальном управлении величина управляющих воздействий возрастает пропорционально произведению проектного значения плотности вероятности и длительности управления;
- 2) возрастание управляющих воздействий во времени должно происходить по кубу экспоненты, то есть очень медленно вначале управления и очень резко в конце;
- 3) аналогичный характер возрастания демонстрирует зависимость управляющих воздействий от величины  $x$ , но выражается она через гиперболические функции;
- 4) появление в функционале задачи проектной плотности вероятности позволило ввести в согласование процессов симметрию (проектная симметризация [109]) за счет чего исключено попадание слагаемых, связанных с одним процессом в уравнение для другого и нелинейность уравнений заметно снижается.



В формулу входит величина  $\omega^*$ , которая будучи подставленной в фор-

$$\text{мулу} \left\{ \begin{array}{l} \frac{\partial \psi}{\partial t} = -b \left( \frac{b^*}{b} - \frac{\psi}{2b} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right) \frac{d^2 \psi}{dx^2} + \frac{d\psi}{dx} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \frac{d\psi}{dx} + \frac{\psi}{2} \frac{d^2 \psi}{dx^2} \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} + 2q(\omega^* - \omega) \\ \frac{\partial \psi_1}{\partial t} = -b_1 \left( \frac{b^*}{b_1} - \frac{\psi_1}{2b_1} \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \right) \frac{d^2 \psi_1}{dx^2} + \frac{d\psi_1}{dx} \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \frac{d\psi_1}{dx} + \frac{\psi_1}{2} \frac{d^2 \psi_1}{dx^2} \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} + 2q(\omega^* - \omega_1) \\ \frac{\partial \omega}{\partial t} = b^* \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} - \frac{\psi}{2} \left( \frac{\partial^2 \omega}{\partial x^2} \right)^2 \\ \frac{\partial \omega_1}{\partial t} = b^* \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} - \frac{\psi_1}{2} \left( \frac{\partial^2 \omega_1}{\partial x^2} \right)^2 \end{array} \right. \quad (2.12)$$

по мере роста уменьшает управляющие воздействия.

Представление структуры этой формулы в виде:

$$y(t) = \frac{b^*}{b} - J(x)e^{\alpha t} - K(x)e^{\beta t} \omega^* t \quad (2.29)$$

иллюстрирует этот момент более детально. Качественно это отражается графиками (см. Рисунок 2.4).

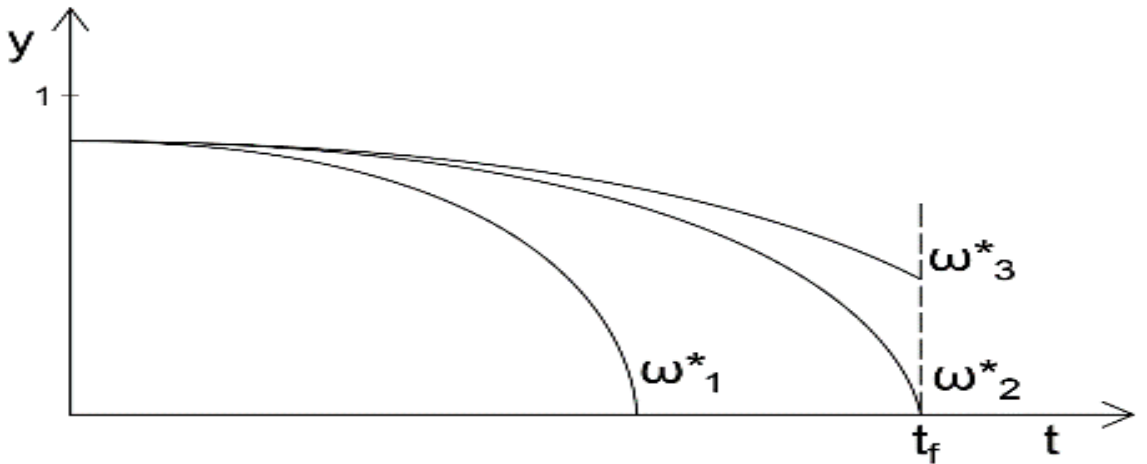


Рисунок 2.4 - Графики зависимостей величины управляющего воздействия от  $\omega^*$ .

При  $\omega^*_1 > \omega^*_2 > \omega^*_3$

Из графика следует, что в зависимости от величины  $\omega^*$  оптимальное управление может заканчиваться досрочно, точно в срок или быть неоконченным. При увеличении  $\omega^*$  уменьшается ее дисперсия в силу сохранения площади под ее графиком. Это означает возрастание детерминированности всех параметров протекания процедуры соединения процессов и при высокой точности площадь под кривой управляющих воздействий (см. Рисунок 2.4) будет стремиться к нулю, т.е. необходимость готовить процессы к соединению отпадает.

Таким образом, исследование задачи оптимального управления согласованием процессов по вероятностным критериям качества показывает важность *проектной симметризации*, позволяющей определить оптимальный расход ресурсов на управление готовностью процессов к соединению и уменьшение расходов на подготовку при увеличении детерминированности этого процесса.

## **2.4 Методические аспекты соединения процессов**

На практике подготовка любой процедуры соединения процессов осуществляется в несколько этапов. На этапе научных исследований проводится поиск по двум аспектам – по актуальности декомпозиции этих процессов с целью повышения эффективности и поиска средств для соединения образовавшихся частей. Заканчивается этап формулированием технического задания. На этапе проектирования под техническое задание адаптируются все параметры соединяемых процессов и разрабатывается часть проекта, относящаяся к их соединению.

На этапе подготовки соединения производственных процессов проводятся все, предусмотренные проектом, организационные и технологические мероприятия.

Наконец, на этапе реализации выполняются реальные соединения, обеспечивающие производственный процесс.

Эти этапы в модели (см. Рисунок 2.5) выделены отдельными блоками и переключаются по мере их реализации.

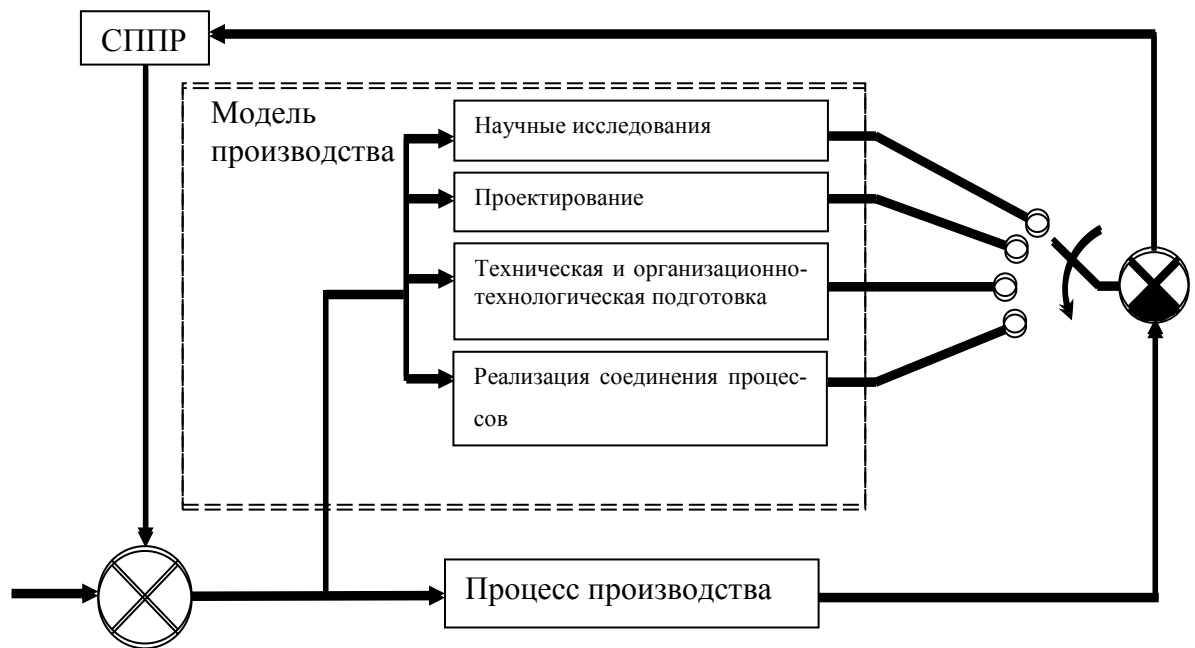


Рисунок 2.5 - Информационно-алгоритмическая обеспечение процедуры соединения процессов.

Схема позволяет последовательно отслеживать соответствие показателей процедур соединения их модельным значениям, своевременно принимать меры при появлении отклонений. Переключатель вносит в схему алгоритм действий. Независимость переключаемых систем позволяет применить к данной схеме аппарат метасистемного подхода [5, 110].

## ВЫВОДЫ ПО ВТОРОЙ ГЛАВЕ

1. Многоуровневая модель согласования соединяемых процессов, отличающаяся тем, что на каждом уровне анализируются свои аспекты процедуры соединения, со своими ограничениями: компонентными, системными, процессными, экономическими и социальными - повышает эффективность соединения за счет снижения многосвязности в многопроцессной системе;

2. Коэффициент эффективности соединения оценивает целерезультативность, ресурсозатратность и оперативность этой процедуры, а также включает «вето» обнуляющее результат при несоблюдении техники безопасности и нарушении технологических режимов.

3. Использование двухэтапной модели управления соединением процессов позволяет на первом этапе оптимизировать готовность процессов к соединению, а на втором осуществлять реализацию, сосредотачиваясь на мониторинге отклонений от проекта с выбором соответствующих реакций на них.

4. Вероятностная модель описания процессов, Марковский подход и уравнение Фоккера-Планка-Колмогорова в сочетании с вероятностным критерием качества управления и преобразованным критерием Летова позволяют постановить и решить задачу оптимального управления готовностью процессов к соединению.

5. При оптимальном управлении величина управляющих воздействий возрастает во времени по кубу экспоненты, зависимость от величины  $x$  выражается гиперболическими функциями.

6. Появление в функционале задачи проектной плотности вероятности позволяет ввести в согласование процессов проектную симметризацию за счет исключения попадания слагаемых, связанных с одним процессом, в уравнение для другого.

7. В зависимости от величины проектной плотности вероятности оптимальное управление может заканчиваться досрочно, точно в срок или быть неоконченным. При ее увеличении возрастает детерминированность всех па-

раметров протекания процедуры соединения процессов и снижаются затраты на подготовку процессов к соединению.

8. На практике соединение процессов рационально проводить в следующей последовательности: на этапе научных исследований - формулировать техническое задание; этапе проектирования - разрабатывать часть проекта, относящаяся к соединению; на этапе подготовки процессов - проводить соответствующие организационно-технологические мероприятия; на этапе реализации – выполнять и контролировать реальные соединения.

## ГЛАВА 3 . МОДЕЛИРОВАНИЕ МЕХАНИЗМОВ СОЕДИНЕНИЯ ПРОЦЕССОВ

В третьей главе исследованы схемы соединения на основе классификации типовых процессов по их функциям. Выявлено три основных механизма соединения процессов с помощью: промежуточного процесса, передатчика и сопряжения. Обсуждается структура системы принятия решений по выбору и реализации механизмов соединения производственных процессов с применением технологий информационного моделирования.

### 3.1 Классификация процессов по их функциям

В целом многопроцесная система представлена элементами-процессами и их соединениями. Как сказано выше в производственных многопроцесных системах элементами являются достаточно отработанные технологические процессы, поэтому целью данного исследования являются способы повышения эффективности функционирования многопроцессной системы, обусловленной степенью согласованности включенных в нее элементов - процессов.

Производство можно представить, как совокупность, заданных технологией, процессов. Классификацию этих процессов, можно проводить по разным признакам, например, по поведению производственного потока. Такие классы процессов приведены на схеме (см. Рисунок 3.1).

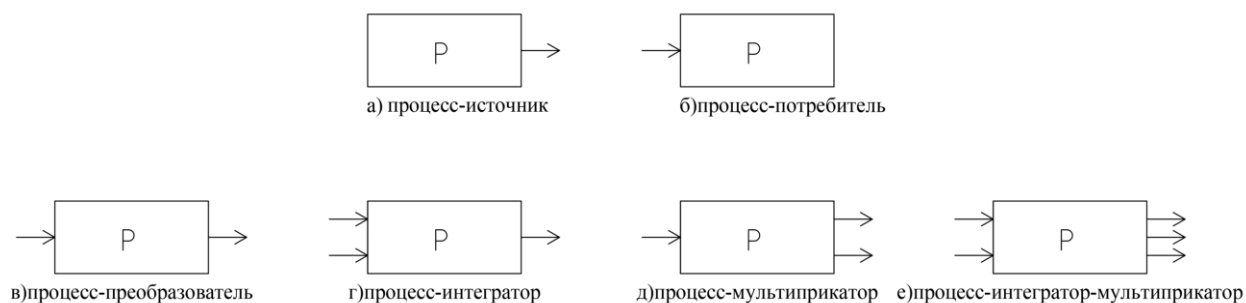


Рисунок 3.1 – Типовые элементы потоковых схем

Поток может порождаться или поглощаться процессом (схемы а и б см. Рисунок 3.1). Поток может преобразовываться и передаваться далее, при этом он может интегрироваться или разветвляться (схемы в, г и д см. Рисунок 3.1).

Многопроцессные системы в производстве, как правило, имеют сложную структуру, представленную последовательно, параллельно (иногда встречно-параллельно) соединенными элементами-процессами.

В качестве примера рассмотрим схему взаимосвязей процессов, обеспечивающих строительство четырех объектов (см. Рисунок 3.2). Процессы-источники в левой части схемы обеспечивают производство: железобетонных изделий, изоляционных и отделочных материалов, дополнительных элементов, элементов инженерных систем и коммуникаций. Пространственное отделение этих процессов от зоны проведения строительно-монтажных работ проведено, как описано выше, для повышения качества и производительности, обеспечиваемых заводскими условиями.

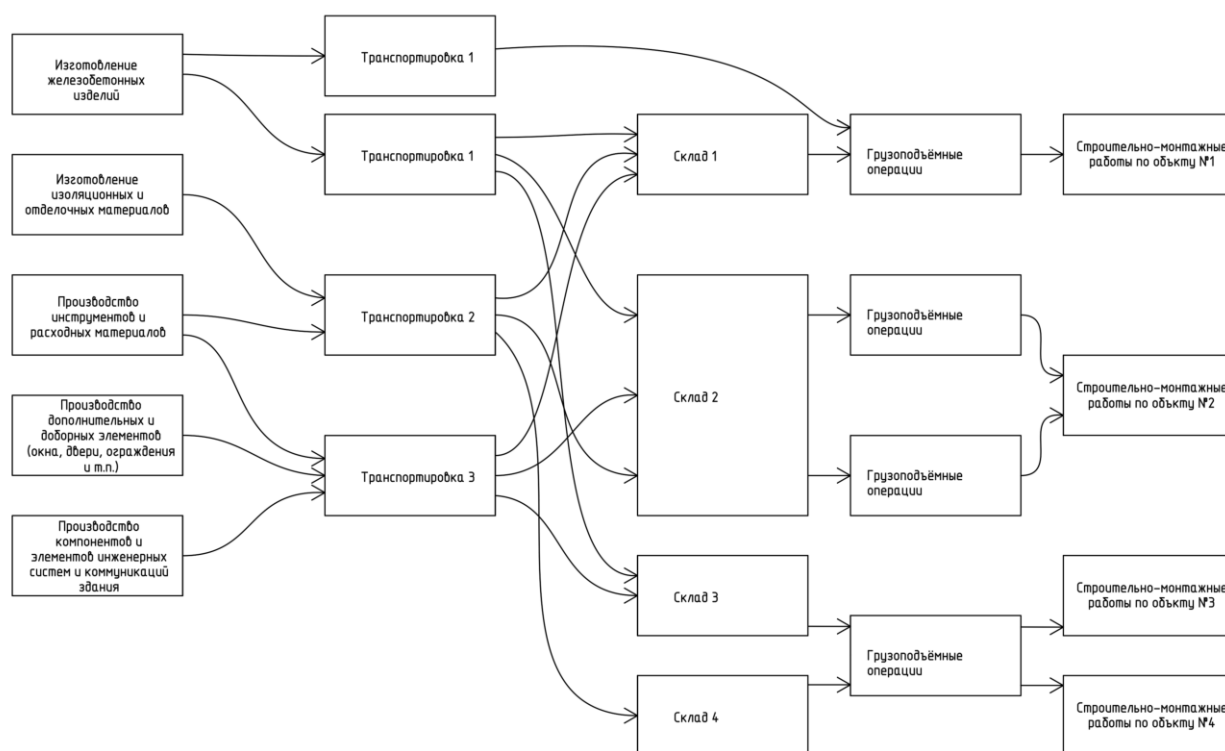


Рисунок 3.2 – Структурная схема строительного производства.

Компоненты попадают на склады строительных площадок с помощью разветвленной сети транспортных процессов-преобразователей, интеграторов, мультипликаторов и интеграторов/мультипликаторов.

Наконец, склады связываются со строительно-монтажными работами посредством процессов-передатчиков (грузоподъем). На схеме строительного производства (см. Рисунок 3.2) имеются схемные решения как с одним процессом-передатчиком и одним процессом-преобразователем, так и с двумя

процессами-преобразователями и одним процессом-передатчиком и наоборот. Возможна также прямая передача (крупноразмерных) компонентов потока, минуя процесс-преобразователь (склад), представленная в верхней части схемы (см. Рисунок 3.2).

Степень детализации этой схемы зависит от уровня иерархии и может быть увеличена путем выявления структурного строения составляющих. Например, изготовление железобетонных изделий можно разбить на следующие процессы: сборка опалубки, монтаж арматурного каркаса, установка закладных деталей, укладка и уплотнение бетонной смеси, монтаж дополнительных элементов (при необходимости).

Таким образом, проведенные схемные соединения процессов показывают достаточность выявленных типовых элементов потоковых схем для многопроцессных систем практически любой сложности. Построенные схемы обладают достаточными информативностью и наглядностью и могут быть полезны в производственных системах.

### 3.2 Механизмы соединения процессов

Детализация процедуры соединения процессов приводит к выводу о необходимости трех типовых механизмов. Проблему выравнивания потоковой производительности процессов решает введение промежуточного процесса, который примет на себя перепроизводство первого процесса или параллельное обеспечение второго. Из величин перепроизводства и недозагруженности определяется мощность вводимого промежуточного процесса. Такой механизм изображен на схеме (см. Рисунок 3.3).

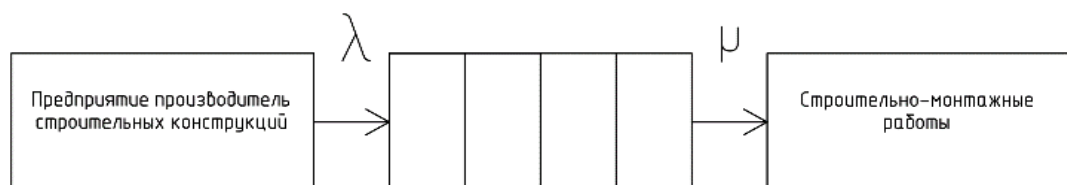


Рисунок 3.3– Соединение двух процессов посредством промежуточного.



Первый процесс (процесс-источник) порождает поток с интенсивностью  $\lambda$ , второй процесс (процесс-потребитель) принимает поток с интенсивностью  $\mu$ . Если эти две интенсивности не равны друг другу, будет наблюдаться два вида несогласованностей: в одном случае продукт одного процесса будет «катастрофически» накапливаться, а во втором случае процесс приемник будет нерационально простаивать из-за дефицита продукта.

Для компенсации этой несогласованности можно ввести промежуточный (накапливающий) процесс, «буферирующий» различия в производительности. При этом излишек продукции будет отводиться в качестве запаса, а в случае остановок первого процесса предотвращение простаивания второго будет ликвидировано этим запасом.

Другой механизм соединения процессов может обеспечивать процесс-передатчик (см. Рисунок 3.4).

Несогласованность процессов в этом случае возникает из-за несовпадения координат появления продукта и координат его приема и может быть непрерывной или дискретной. В первом случае необходимо использовать «непрерывный» передатчик: трубопровод, конвейер, транспортер.

Во втором случае введением процесса-передатчика можно устранить пространственную разнесённость процессов дискретной транспортировкой: грузовой транспорт, подъёмный кран, подъёмник (лифт).

В этом случае механизм дискретный и на первый план выходит ожидание процессом-передатчиком продукта на выходе первого процесса, либо ожидание вторым процессом передачи продукта. Математически ожидание можно описать вероятностью той или иной ситуации. На схеме (см. Рисунок 3.4) величины ожидания связываются с плотностями вероятности появления продукта ( $\omega_1, \omega_2$ ).

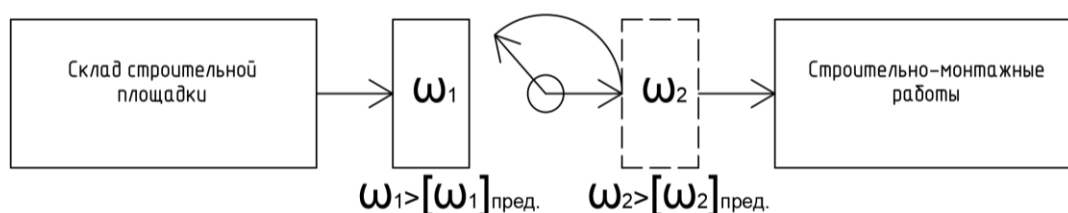


Рисунок 3.4 – Соединение процессов посредством передатчика.

Третий механизм решает проблему взаимосвязанности развития двух соединяемых процессов. При этом интенсивность развития одного процесса обуславливает производительность второго и, следовательно выходные показатели первого процесса поступают на вход второго, а выходные показатели второго поступают на вход первого. Такой механизм (по аналогии с биологическими процессами) назовем сопряжением (см. Рисунок 3.5).

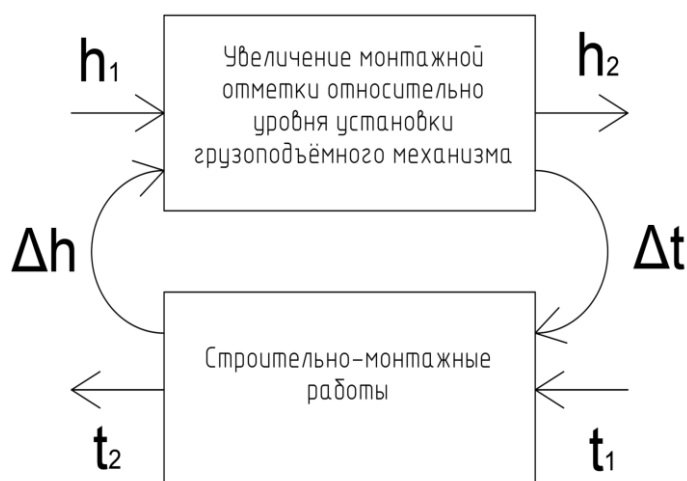


Рисунок 3.5 – Соединение процессов путем сопряжения.

При этом динамичность развития одного процесса полностью отражается на динамике другого из-за связности выходов и входов. У сопрягаемых процессов показатели выходных параметров могут иметь различную природу. Так на рисунке 11 «верхний» процесс оценивается достигнутой координатой, а нижний производительностью (временем выполнения операции). Для согласования применяется преобразование одного параметра в другой.

Таким образом, в общем случае можно выделить семь механизмов соединения процессов:

- последовательное соединение с введением промежуточного процесса;
- последовательное соединение дискретных процессов с помощью механизма передачи;
- параллельное соединение непрерывных процессов с механизмом интеграции;
- параллельное соединение дискретных процессов с механизмом передачи и интеграции;

- параллельное соединение непрерывных процессов с механизмом дифференциации;
- параллельное соединение дискретных процессов с механизмом передачи и дифференциации;
- соединение процессов путем сопряжения.

Кроме того, к выделенным классам соединений можно добавить различные комбинации таких механизмов.

### **3.3 Метасистемная структура системы поддержки принятия решений по организации производства.**

В силу разнообразия механизмов соединения, природы соединяемых процессов и связанное с этим многообразие операций в процедурах соединения, принятие решений становится сложной и ответственной задачей. При этом выбор процедуры соединения не будет эффективным без применения вычислительной техники. Удобным средством автоматизации этого процесса может быть автоматизированное рабочее место (АРМ) руководителя, в состав которого должна входить система поддержки принятия решений (СППР). В первом приближении АРМ может включать три подсистемы: сбора актуальной информации, поддержки в принятии управленческих решений и информационного обеспечения (см. Рисунок 3.6).

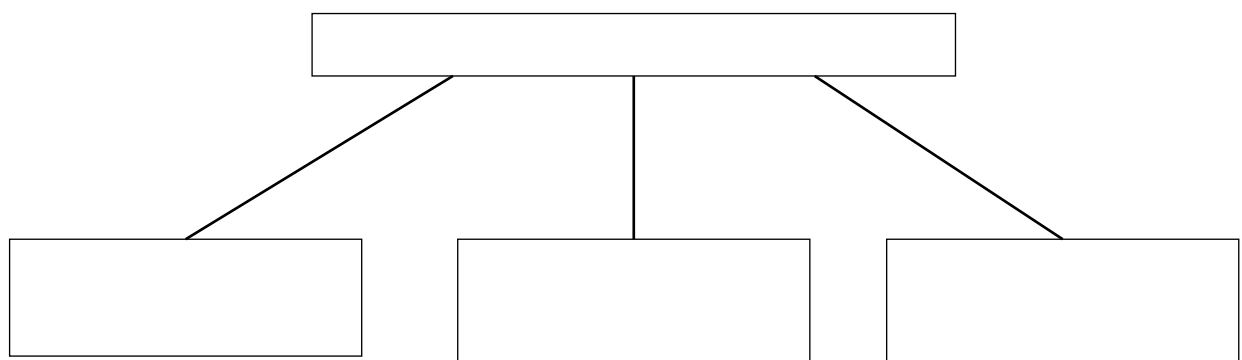


Рисунок 3.6 – Структура АРМ руководителя.

Первая подсистема, кроме оператора, вводящего информацию, может включать различные датчики, в том числе контролирующие безопасность, а также видеокамеры. Вторая подсистема работает с привлечением нормативно-справочных материалов.

Основные алгоритмы функционирования подсистемы поддержки принятия решений являются предметом исследования и разработки. Поскольку выбор альтернатив при принятии решения связан с проводимой в данный момент операцией и адекватными переключениями в зависимости от ситуации, складывающейся при соединении процессов, рассмотрим в качестве теретического метода, используемого для описания этих переключений, метасистемный подход [140].

Существует два способа интеграции систем по Дж. Клиру [92] – путем создания структурированной системы или организации метасистемы. Структурированная система предусматривает синтез разнообразных взаимосвязей между элементами, входящими в систему, то есть организацию некоторой структуры. Метасистема должна включать некоторое множество систем, из которых производится адекватный ситуации выбор. При этом метасистема обладает большей живучестью, как показано в работе [21].

В случае управления соединением процессов необходима двухуровневая метасистема. Тогда на втором, самом высоком уровне используется функция замены метасистем, которая будет срабатывать, когда меняется механизм соединения (см. Рисунок 3.7). Соответственно переключения будут происходить при переходах от соединения с помощью промежуточного процесса к соединению с помощью процесса –передатчика или сопряжению процессов. А на первом уровне декларируется последовательность переключения, обусловленная природой соединяемых процессов.

Выбор метасистем на верхнем уровне зависит от требований реализуемого проекта. На низком уровне функция замены переключает внимание системы управления между различными операциями соединения, поскольку при их выполнении может быть задействовано специальное оборудование и соответствующий персонал.

Практическая реализация метасистемной схемы переключения рассматривается на примере управления строительным производством (см. Рисунок 3.7).

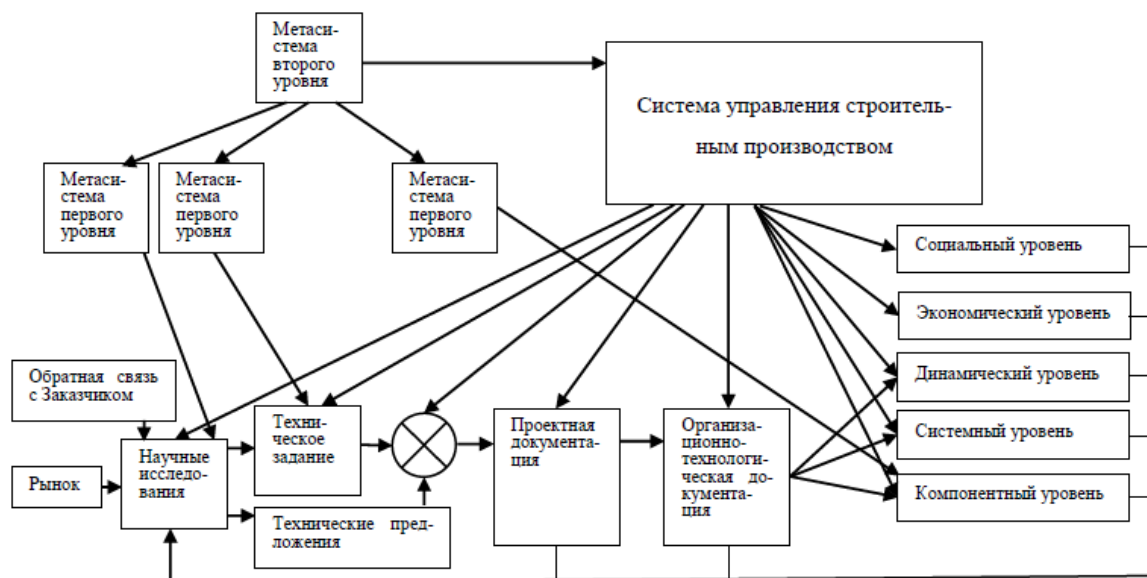


Рисунок 3.7 – Схема управления строительным производством с метасистемной организацией принятия решения.

При возникновении проблемы на каком-либо производственном этапе, метасистема верхнего уровня выбирает соответствующую метасистему нижнего уровня, которая, в свою очередь, выбирает инструмент решения возникшей задачи.

Система поддержки принятия решений функционирует следующим образом. В обычном режиме она может заниматься мониторингом строительной площадки, собирая информацию за счет датчиков и телекамер. При этом она может размещать информацию в виде гиперкуба, что облегчит дальнейшее представление различных срезов в зависимости от пожеланий руководителя (OLAP-технология). В ответ на запрос система управления автоматически переключается на программу, адекватную ситуации и понимает все запросы в соответствии с текущей ситуацией. Если вопрос не привязан к ситуации, руководитель сам должен переключиться на соответствующую программу поддержки принятия управленческого решения.

### 3.4 Управление организацией производства

Под организацией в наиболее общем смысле понимают целевое объединение имеющихся ресурсов управления. С другой стороны, это понятие трак-

туется достаточно разнообразно. В разных контекстах под организацией понимают: учреждение, процесс, структуру, источник и др.

В данной работе организация понимается как одна из функций управления и потому рассматривается как процесс (деятельность) по созданию или совершенствованию взаимосвязей между элементами системы с целью повышения упорядочения в ней и ее эффективности. Не случайно в переводе с французского организация (франц. *organisation*, от позднелат. *organizo* – БСЭ) означает: сообщаю стройный вид, устраиваю.

Лишь к началу 20 в. исследователи пришли к общему выводу, что объекты, существенно различные по составу, могут демонстрировать сходные свойства, благодаря общности в способах организации. Стало понятно, что не только свойства составляющих системы, но и способы их организация в систему предопределяют ее свойства. Разнообразие процессов и форм организации побудило исследователей попытаться построить общее учение о методах и формах организации названная А.А. Богдановым (1913) «тектология». Широту понимания этого термина иллюстрирует фраза: «всякая человеческая деятельность объективно является организующей или дезорганизующей» — с этих строк начинается книга А.А. Богданова [44].

Организационная наука получила развитие в кибернетике [20] и в общей теории систем [88].

Очень часто организация понимается как объединение людей, совместно реализующих некоторую программу или достигающих общую цель и действующих на основе определённых процедур и правил, то есть почти как социальная дисциплина. Например, в классическом представлении, организация производства представляет собой совокупность форм, методов и приемов научного обоснования соединения рабочей силы со средствами производства.

Основная часть строительного производственного процесса осуществляется на строительной площадке. Предназначение строительной площадки заключается в создании условий обеспечивающих безопасную, бесперебойную (стабильную) организацию строительно-монтажных работ, а также максимизацию эффективности использования машин, механизмов. В этом отношении

этап *организации (обустройство, подготовка)* строительной площадки включен в основной строительно-монтажный процесс, в котором можно выделить несколько этапов:

Оформление правоустанавливающих документов, права пользования, аренды выделенного под строительство земельного участка.

Кадастровые работы (при необходимости, в случае выхода строительной площадки за пределы земельного участка выделенного под строительство).

Внесение изменений (при необходимости, в рамках разработки проекта производства работ (ППР)) в проект организации строительства (ПОС) и проведение повторной экспертизы проектной документации.

Разработка и утверждение проекта производства работ (ППР) с учетом (при необходимости) корректировки выбора крана и мест его стоянки, а также других машин и механизмов.

Согласование календарного графика и времени (сменности) производства работ. При необходимости организация соответствующих компенсирующих мероприятий.

Производство работ по организации (обустройстве, подготовке) строительной площадки.

Демонтаж строительной площадки (после завершения СМР).

При этом, как правило, предусматривают:

- устройство ограждения площадки строительства;
- рекультивация земельного участка;
- устройство временных дорог, проездов;
- монтаж кранового пути и (или) крана;
- обустройство закрытых и открытых складов;
- организация мойки колёс, бытовок, вспомогательных помещений, мест складирования мусора и т.п.
- подключение временных инженерных сетей.
- организация освещения и других инженерных систем строительной площадки.

На организованной таким образом строительной площадке необходим склад строительных материалов для бесперебойного выполнения строительномонтажных работ.

Грузоподъемные работы должны обеспечивать безопасную, бесперебойную и плавную доставку грузов со склада (или непосредственно с транспортного средства) к месту монтажа в соответствии с проектной (рабочей) документацией с обеспечением максимального качества процесса СМР.

При этом наиболее важными условиями, обеспечивающими возможность решения задач грузоподъемных работ, являются:

- соблюдение характеристик грузоподъемного механизма (ГПМ);
- взаимная оптимизация места стоянки крана и расположения склада.

Монтажные работы – основной процесс при создании строительного объекта. Их организация связана с созданием условий для выполнения требований безопасности, технологичности и обеспечения качества.

Конкретизация связана с:

- созданием комфортных условий труда;
- применением эффективных инструментов и механизмов;
- использованием безопасных методов и технологий производства работ;
- применением современных и удобных средств индивидуальной защиты (СИЗ).

Особенно важным является выбор технологии производства работ, с применением современных материалов и инструментов, минимизирующий антропогенное воздействие и отклонение от регламентных параметров, который непосредственно связан с организацией строительной площадки при разработке проекта организации строительства (ПОС), проекта производства работ (ППР).

В настоящее время организация строительномонтажных работ немыслима без применения вычислительной техники. Наиболее перспективным представляется применение технологий информационного моделирования (ТИМ (BIM)), которые предлагается расширить в сторону моделирования монтажных работ, грузоподъемных и складских операций. Расширенную ин-



формационную модель предлагается интегрировать в автоматизированное рабочее место (АРМ) руководителя строительного объекта. Структура такой расширенной технологии информационного моделирования изображена на схеме (см. Рисунок 3.8). Она включает создание информационной модели здания и моделирование элементов строительных процессов.

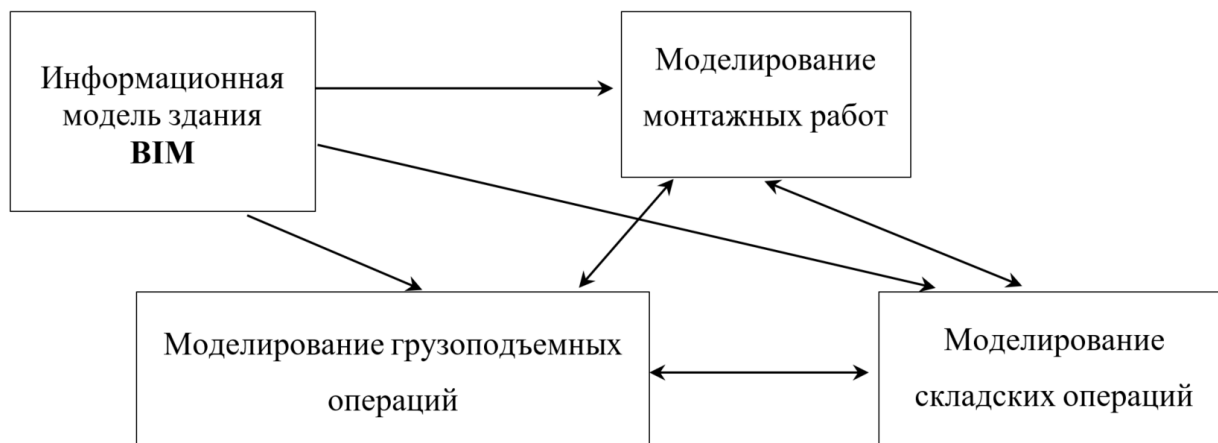


Рисунок 3.8 – Схема расширенной технологии информационного моделирования.

## ВЫВОДЫ ПО ТРЕТЬЕЙ ГЛАВЕ

1. Классификация процессов по признаку их потоковых функций (порождение, прием, преобразование и передача) позволяет составить структурную схему многопроцессной системы используемую для выявления и анализа мест соединения процессов с целью выбора и применения механизмов соединения.

2. Выявлено три механизма соединения (с промежуточным процессом, с передатчиком и с сопряжением), позволяющих выравнивать параметры потоков, пространственные координаты соединяемых процессов, а также согласовывать темпы их изменений.

3. Метасистемный подход к процессу принятия управленческих решений выявил необходимость двухуровневой схемы. На верхнем уровне выбирается задача, связанная с этапом производства, а на нижнем – инструмент ее решения, а также формируется база прецедентов решения подобных задач.

4. При метасистемном механизме принятия решений область альтернатив разделяется на большое число зон, в каждой из которых концентрируются специальные знания и инструменты. При дедуктивном выводе метасистема покаскадно подключают адекватную зону знаний.

5. Переключение системы поддержки принятия решений в производственных условиях на программу, адекватную ситуации, обеспечивает непрерывный мониторинг процессов на строительной площадке, а также реализацию заданной технологии строительства.

6. Организация производства реализуется организационными воздействиями, понимаемыми, как мероприятия, несвязанные напрямую с основным производственным процессом, но способствующие возрастанию качества его проведения в отношении сроков, затрат и допустимых отклонений от технологии.

7. Анализ структурной схемы многопроцессной системы, механизмов соединения процессов, а также процедуры принятия решений показывает, что самыми важными аспектами организации строительной площадки, обусловли-

вающими качество выполнения строительно-монтажных работ, являются: расположение крана и траектории перемещения грузов, расположение и размер склада, параметры заказов, количество звеньев в зависимости от монтируемого этажа.

8. Кроме того, реальное управление строительным производством требует расширения технологии информационного моделирования в сторону моделирования монтажа, грузоподъемных и складских операций. Эта технология является основой для системы поддержки принимаемых решений руководителя строительного объекта по совершенствованию организации строительной площадки.

9. Сложность, информационная насыщенность, быстрая изменчивость ситуаций на строительной площадке, а также необходимость соблюдения строгих мер безопасности актуализирует необходимость специальной системы компьютерной поддержки принятия решений руководителя строительства.

## **ГЛАВА 4 .      РАЗРАБОТКА      МЕТОДИКИ      ПОВЫШЕНИЯ ЭФФЕКТИВНОСТИ СТРОИТЕЛЬНЫХ ПРОЦЕССОВ**

Рассмотрены вопросы применения полученных теоретических результатов на практике. В качестве области применения результатов исследования по соединению процессов выбрано строительство.

### **4.1 Стратифицированная модель строительного производства**

На основе обобщенной модели разработана пятиуровневая модель процедуры соединения основных процессов при панельном домостроении (см. Рисунки 4.1).

Компонентный уровень в этой схеме представлен всеми процессами, выполняемыми на строительной площадке: транспортировки, устройства фундамента, складскими операциями, грузоподъемными операциями, строительномонтажными работами, гидроизоляционными работами, отделочными работами и т.д. Все работы сопровождаются действиями персонала. В качестве основных процессов, представляющих все уровни в пятиуровневой модели, выберем складские операции, грузоподъемные операции, строительномонтажные работы.

На системном уровне в качестве примера реализации пространственного соединения процессов складирования и строительномонтажных работ становится определение оптимального места стоянки крана.

На динамическом уровне примером реализации динамического соединения является сопряжение процессов увеличения монтажной отметки здания и изменения количества звеньев монтажной бригады.

На уровне экономического сопровождения рассматривается соединение процесса заказа и расхода панелей.

На социальном уровне исследуется аспект процедуры соединения производственных процессов, выполняемых персоналом, и процессов, обеспечивающих безопасность. На социальном уровне также отсекаются социально неприемлемые решения.

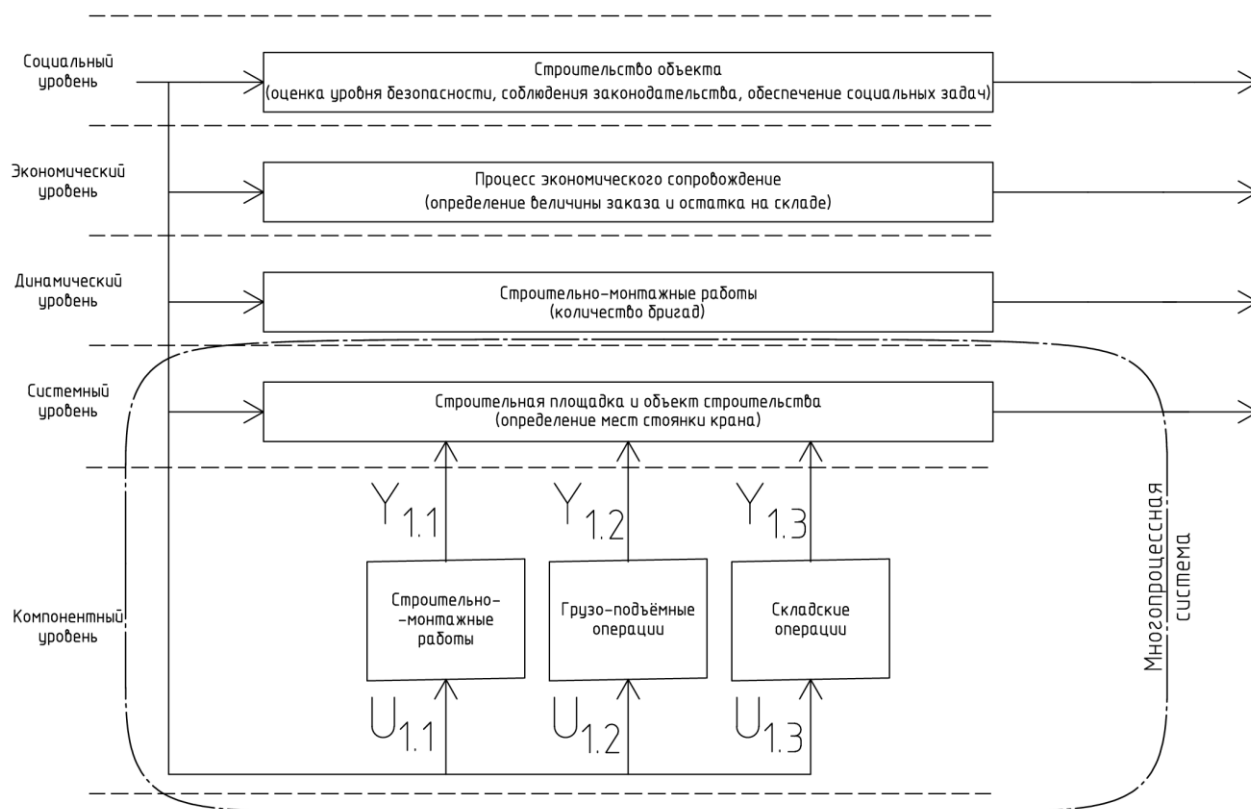


Рисунок 4.1 – Стратифицированная модель организации строительной площадки.

Постановка задач оптимального управления, связанных с соответствующим уровнем в схеме (см. Рисунок 4.1), начинается с выбора критериев. Минимизация выбранного интегрального критерия должна осуществляться путем проведения мероприятий по планированию оптимального перемещения грузов, увязки проведения грузоподъемных работ с общим планом строительства, диспетчеризации поступления и размещения грузов, способствующей их равномерному поступлению, рациональному размещению и готовности оборудования, самих грузов, персонала к проведению грузоподъемных операций.

Кроме того, разработанная схема позволяет поставить задачу оптимального распределения организационных управляющих ресурсов на подготовку операций.

При выборе критерия оптимизации возникает дилемма: выбрать универсальный критерий широкого охвата, либо массу частных критериев, а из них образовать некий интегральный - свертку. В качестве универсального обычно выбирают экономические критерии: разность затрат и получаемого эффекта или отношение этих двух величин. Частными критериями могут быть: масса

перемещаемого в единицу времени груза, энергозатраты на единицу массы перемещаемого груза, производство массы среднего груза на среднее расстояние по перемещению и так далее.

Очевидно, что повышение эффективности строительного производства, которую обеспечивает постановка и решение задач оптимального управления наталкивается на необходимость строгого соблюдения мер безопасности [13, 152]. Так кран, за счет которого можно ускорить проведение грузоподъемных операций, относится к опасному технологическому оборудованию.

При передвижении крана по наземному рельсовому пути возникает ряд динамических процессов, существенно влияющих на работоспособность, как крана, так и рельсового пути. К таким процессам относятся: упругие колебания элементов трансмиссии, механизмов передвижения и металлоконструкции крана, возникающие при его пуске и торможении; поперечные и вращательные движения в горизонтальной плоскости в пределах зазоров между ребрами ходовых колёс и рельсами; ударное нагружение элементов ходовой части крана, его металлоконструкции, механизмов передвижения крана при проходе крановыми колёсами рельсовых стыков, а также некоторые другие.

Крановый путь является важным элементом в единой механической системе эксплуатации грузоподъёмного механизма. Согласно результатам натурных обследований путей и кранов необходим дополнительный анализ взаимодействия элементов «кран-путь». В результате изучения нормативной базы и сложившейся ситуации в краностроительной индустрии можно сделать вывод об актуальности инициации исследования адаптации рельсо-колёсного механизма крана к планово-высотным параметрам крановых путей в зависимости от конкретных технических и геометрических характеристик крана [139, 138, 107].

В связи с этим можно требования техники безопасности внести в качестве главного ограничения при решении задачи оптимального управления, требовать ограничения технологических параметров и режимов, например, обеспечивая условия безопасного, плавного и бесперебойного перемещения грузов

на строительной площадке при работе грузоподъемного крана или невозможность падения персонала с высоты и т.д.

Задачи установки крана, подготовки склада, планирования количества занятых звеньев являются наиболее важными с точки зрения повышения готовности к строительно-монтажным операциям.

Готовность производственной системы, равно как, процессов к соединению формулируется в виде метасистемной задачи [140]: оценка и повышение необходимого уровня готовности систем к функционированию.

Эта задача является важной при осуществлении технологического процесса, включающего последовательность операций, так как пока выполняется текущая операция, следующая должна уже готовиться.

При этом можно использовать результат проведенного теоретического исследования в виде экспоненциальной зависимости подготовительных управляющих воздействий от времени, а также в виде того факта, что величина организационных управляющих ресурсов снижается по мере удаления от начала выполнения текущей операции.

Далее исследуются решения сформулированных в схеме (см. Рисунок 4.1) задач оптимального управления. При этом осуществляется адекватный выбор механизмов соединения процессов с целью повышения эффективности строительного производства.

#### **4.2 Постановка и решение задачи оптимального расположения мест стоянок башенного крана**

Для представления системного уровня, по схеме (см. Рисунок 4.1), выбрано соединение процессов *посредством передатчика* на примере работы грузоподъемного крана.

Поскольку на строительной площадке при использовании технологий панельного домостроения ведущей машиной является башенный кран [59,46,74], необходимо так организовать его работу, чтобы простой был минимальным. Для достижения этой цели в работе [104] рассмотрены соответствующие критерии и поставлены соответствующие задачи, часть которых решена в [14].

Важны не только места стоянок крана, но и траектории, по которым перемещаются грузы. Более того, кран, как самое дорогостоящее оборудование, должен задавать конфигурацию строительной площадки, наиболее удобную именно для работы с ним. Его положение определяет и положение склада, и транспортные проезды, и расположение крановых путей по отношению к монтируемому зданию.

Ситуация обостряется, если башенный кран вступает в работу с самого начала, с монтажа фундамента и стен подвала и остается до самого конца монтажа здания.

При этом производительность крана зависит от связанных с ним технических параметров – констант крана. Кроме размеров к ним относятся скорости перемещений его и тележки, равно как и угловая скорость поворота стрелы, грузоподъемность, конфигурация и способы перемещения по кривым малого радиуса.

С другой стороны, переменные величины связаны с грузами, которые кран перемещает (штучный, пакетированный, длинномерный, крупноразмерный), с квалификацией обслуживающего персонала, с конструкцией возводимого здания

Повышение производительности, следовательно, можно достигнуть целенаправленно, изменяя переменные величины [163]. Рассмотрим эти аспекты подробнее.

С точки зрения экономии, необходимо максимизировать загруженное состояние крана, увеличивая интенсивность и, тем самым уменьшать общее время его работы. При этом необходимо иметь в виду, что большой подъем груза по высоте удлиняет путь груза.

Резерв экономии времени предоставляет возможность совмещения нескольких движений крана. Однако, совмещение движений поворота стрелы и опускания крюка над подмостями производить не рекомендуется, так как в этом случае трудно рассчитать траекторию движения груза и можно допустить его задевание за конструкции. Следует организовать работу крана так, чтобы как можно чаще подавать однородный груз.



В настоящее время коэффициент внутрисменного использования башенных кранов составляет 60—65%, из них на монтаже кран занят не более 40—45% своего рабочего времени. По грузоподъемности краны используются на 40—50%. Тяжелые и дорогостоящие краны часто «простаивают из-за организационных недостатков и неполадок или отвлекаются на выполнение погрузочно-разгрузочных и складских операций, которые можно выполнить при помощи других, более легких, дешевых и мобильных машин».

В результате можно сформулировать следующие требования, необходимые при эксплуатации башенного крана:

1) Необходимо значительно улучшить организацию завоза и складирования сборных изделий на складах, размещая штабели в рабочей зоне монтажного крана;

2) В проектах зданий необходимо добиваться оптимального соотношения сборных элементов по количеству и по весу, рационально назначать максимальный вес и количество изделий с наилучшим использованием кранов по грузоподъемности;

3) При разработке планировки жилых кварталов и массивов необходимо стремиться к рациональному использованию башенных кранов в условиях точного строительства.

Рассмотрим теоретическую задачу минимизации времени доставки грузов от склада до места монтажа на строительной площадке.

Задача исследования эффективности перемещения груза в пространстве конфигураций механической подсистемы стрелового грузоподъемного крана уже ставилась [206,96]. При этом в основу решения задачи оптимизации поставлен критерий минимума энергозатрат. Однако на наш взгляд здесь лучше подходит критерий, связанный с минимизацией времени доставки груза в зону монтажа.

Самая короткая траектория доставки груза лежит в вертикальной плоскости, проходящей через склад и место монтажа. Однако, чтобы обеспечить нахождение траектории движения груза в этой плоскости, необходим кран-робот с компьютерным управлением приводами. Другим ограничением, принимае-

мым в обычной строительной практике, является обеспечение правил безопасного производства работ, в том числе ограничение одновременного выполнения рабочих операций крана [179,71] (поворота с подъемом груза, движения крановой тележки с подъемом груза и, наконец, поворота с движением тележки или даже крана). Отсюда следует, что можно разделить движения и, провести только плоскостные исследования, ограничившись поворотом стрелы и окончательным доведением груза вдоль стрелы. Такая плоскостная модель взаимного размещения склада, крана и места монтажа [58] представлена на схеме (см. Рисунок 4.2).

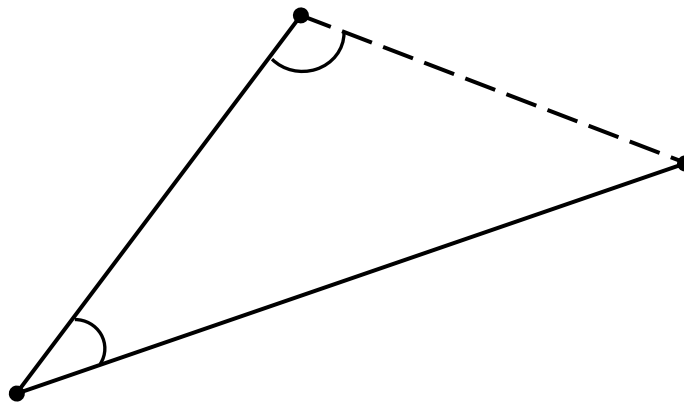


Рисунок 4.2 – Модель взаиморасположения склада, крана и места монтажа.

Точка  $A$  отражает положение склада, точка  $B$  – место монтажа, наконец в точке  $C$  – расположен башенный кран, соответственно вылет его стрелы должен быть больше, чем  $CA$  и  $CB$ . В этих обозначениях можно сформулировать следующий минимизируемый критерий в виде времени перемещения груза:

$$t = \min_{\alpha, AC} \left\{ \frac{\varphi}{\omega} + \frac{|BC-AC|}{V} \right\}; \quad (4.1)$$

$$0 \leq \alpha < 90^\circ; AB \leq 2L; CA \leq L; CB \leq L$$

Здесь  $\omega$  – угловая скорость поворота стрелы крана,  $V$  – скорость движения крановой тележки,  $\varphi$  – угол поворота стрелы крана,  $\alpha$  – угол между  $AC$  и  $AB$ .

Первое слагаемое в формуле (29) отражает время поворота стрелы, второе – время движения тележки. В числителе второго слагаемого взята абсолютная

величина расстояния, проходимого тележкой из-за отсутствия влияния на-  
правления ее движения.

Применяя теорему синусов можно записать

$$\frac{AB}{\sin \varphi} = \frac{\sqrt{AC^2 + AB^2 - 2 AC AB \cos \alpha}}{\sin \alpha} \quad (4.2)$$

Отсюда можно выразить угол  $\varphi$ . Подставляя затем полученное выраже-  
ние в (29) имеем

$$t = \frac{\arcsin \frac{AB \sin \alpha}{\sqrt{AC^2 + AB^2 - 2 AC AB \cos \alpha}}}{\omega} + \frac{|\sqrt{AC^2 + AB^2 - 2 AC AB \cos \alpha} - AC|}{V} \quad (4.3)$$

Для достижения минимального значения времени необходимо дифферен-  
цировать данное выражение по  $\alpha$  [176,79], и приравняв полученное выраже-  
ние к нулю, получим уравнение относительно  $\alpha$

$$V(AB \cos \alpha (AC^2 + AB^2 - 2 AC AB \cos \alpha) - AB^2 AC \sin^2 \alpha) + \omega(AC^2 + AB^2 - 2 AC AB \cos \alpha - AB^2 \sin^2 \alpha) AC AB \sin \alpha = 0 \quad (4.4)$$

Полученное уравнение нелинейное и тригонометрическое. Для его ре-  
шения при различных значениях входящих параметров разработана компью-  
терная программа, использующая для нахождения корней метод Ньютона.

Данные, использованные для численного расчета, сведены в таблицу (см.  
Таблица 4.1).

Таблица 4.1 – Данные для расчетов

Параметр	$V$	$\omega$	$AB$	$AC$
Размерность	м/сек	рад/сек	М	м
Фиксированное значение	0.42	0.063	20	15
Диапазон изменения	0.1-0.5	0.1-0.087	1-50	10-30

Компьютерное моделирование имело целью выявить зависимость мини-  
мального времени перемещения груза от характеристик крана и его распо-  
ложения.

Во-первых, выявлялась зависимость минимального времени от возраста-  
ния расстояния между складом и местом монтажа.

Во-вторых, определялась зависимость (при минимальном времени) расстояния между краном и отрезком АВ от соотношения скорости крановой тележки и скорости вращения крановой стрелы.

В-третьих, выяснялось зависимость минимального времени от соотношения скоростей тележки и крановой стрелы, при фиксированном расстоянии между складом и краном, а также между складом и местом монтажа.

В-четвертом исследовании определялась зависимость минимального времени от расстояния между краном и складом, при фиксированных скорости тележки, угловой скорости вращения стрелы, а также расстояния от склада до крана и места монтажа.

Результаты первого эксперимента представлены на графике (см. Рисунок 4.3). В середине графика, при значении АС равным 17 м, имеется отчетливый минимум, обусловленный отсутствием движения тележки.

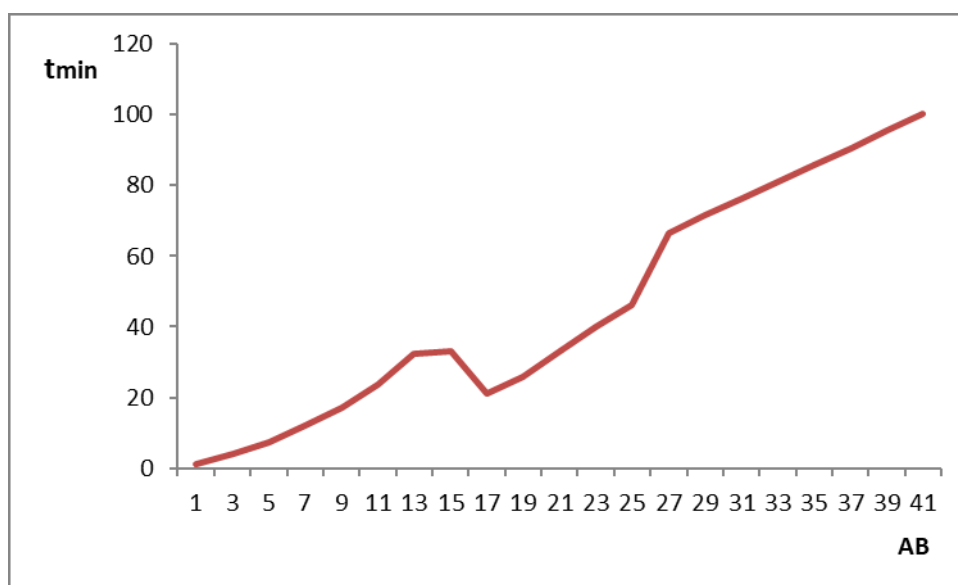


Рисунок 4.3 – Зависимость минимального времени от расстояния между складом и местом монтажа.

На графике (см. Рисунок 4.4) представлены результаты второго эксперимента. В начале графика имеем пропорциональную зависимость, а в конце график выходит на «насыщение», из-за приближения угла  $\alpha$  к  $90^\circ$ .

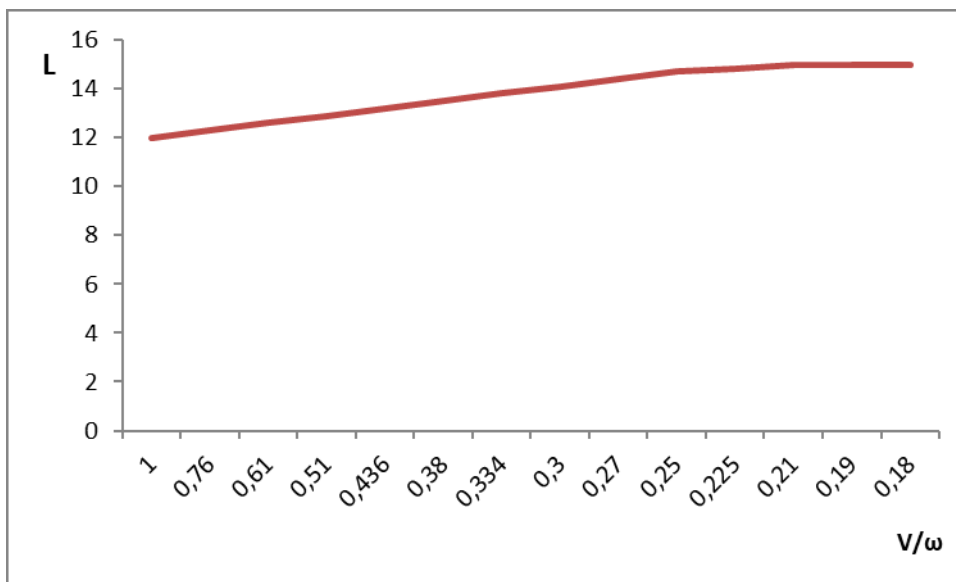


Рисунок 4.4 – Зависимость оптимального положения крана по отношению к линии АВ от соотношения скоростей движения стрелы и тележки.

На графике (см. Рисунок 4.5) представлены результаты третьего эксперимента. График имеет отчетливый минимум (при соотношении скоростей движения тележки и вращения стрелы равным 0.61), поскольку точки расположения крана, склада и места монтажа далеки от равнобедренный треугольник ABC.

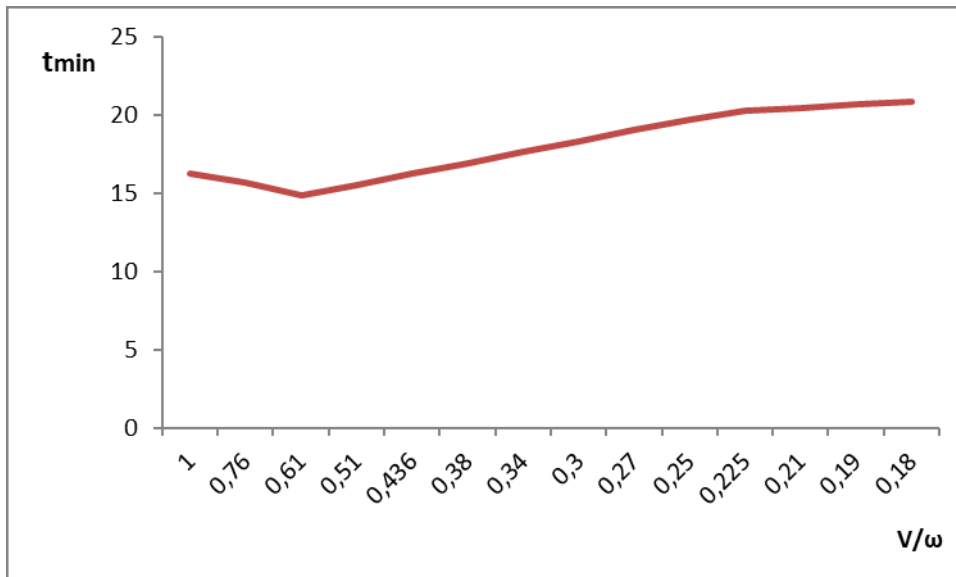


Рисунок 4.5 – Зависимость минимального времени от соотношения скоростей движения стрелы и тележки.

На графике (см. Рисунок 4.6) представлены результаты четвертого эксперимента. График имеет минимум при расстоянии 17 м., а максимум показывает, что треугольник ABC стал равносторонним, и далее время плавно

уменьшается по мере удаления от склада, так как уменьшается угол  $\varphi$ , а стало быть длительность углового поворота стрелы.

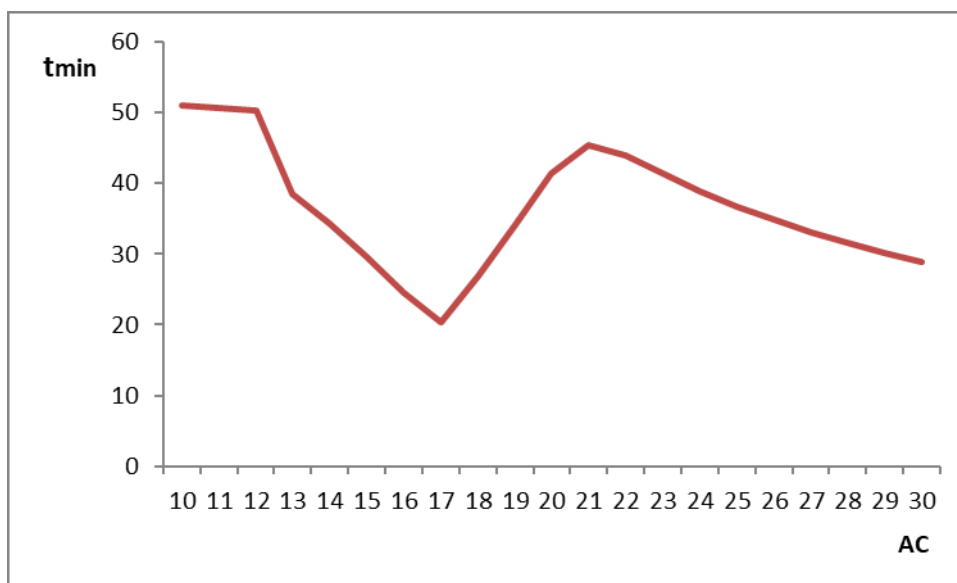


Рисунок 4.6 – Зависимость минимального времени от расстояния до склада.

Сводные результаты представлены графиками пошаговой зависимости (см. Рисунок 4.7).

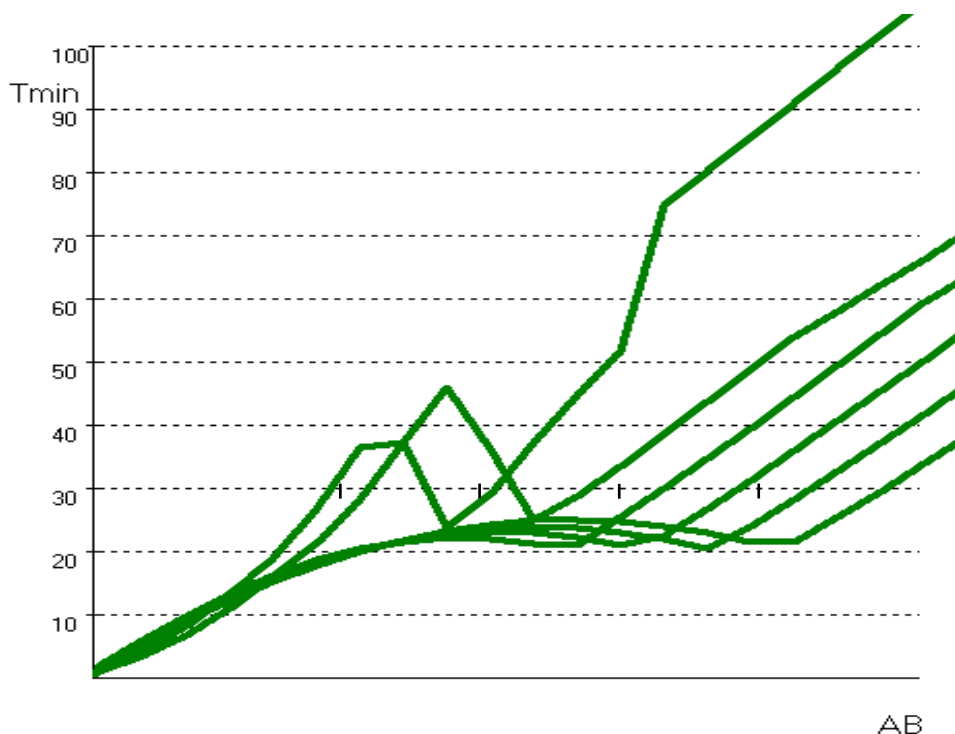


Рисунок 4.7 – Пошаговые зависимости минимального времени от расстояния между складом и местом монтажа для разных моделей кранов.

Проведенное исследование доказывает [12]:

- Необходимо максимально сокращать расстояние между складом и местом монтажа;
- Преимущество имеет модель конфигурации размещения крана близкая к равнобедренному треугольнику (АВ – основание), при этом движение тележки практически отсутствует;
- При модели конфигурации далекой от равнобедренного треугольника необходимо выбирать соотношение между скоростью тележки и вращения стрелы на уровне 0.61;
- При низком соотношении между скоростью тележки и вращения стрелы необходимо удалять кран от места монтажа, сохраняя расстояние до склада.

Таким образом, исследование параметров оптимального расположения мест стоянок башенного крана показало наличие определенных особенностей в процессе достижения общей цели - минимизации времени перемещения груза [15]. В первую очередь, это относится к взаимному расположению крана, склада и места монтажа – необходимо, чтобы они образовывали равнобедренный, а лучше даже равносторонний треугольник. С другой стороны, существует наиболее подходящее к выбранной геометрии соотношение между скоростями движения тележки вращения стрелы крана, в данном исследовании оно равно 0.61.

Анализ зависимостей позволяет сделать вывод, что в самом оперативном варианте движение крановой тележки должно быть сведено к минимуму, т.е. перемещение груза рационально осуществлять только поворотом стрелы крана.

#### **4.3 Оптимизация количества звеньев в строительной бригаде при панельном домостроении**

Монтаж этажа из готовых панелей осуществляется, как отмечалось выше, за счет функционирования эргатической системы. В такой системе обязательно наличие строительной бригады, от квалификации и работоспособности членов которой зависят все основные показатели выполнения строительномонтажных работ.

Непосредственный монтаж осуществляют звенья этой бригады. Конечно, в эргатических системах большое значение имеет социально-психологический климат. Однако, на первом плане все-таки должна быть организация людей, исправные инструменты, своевременная подача расходных материалов, а затем, безусловно рабочий настрой.

Панели и другие сборочные единицы изготавливают на специализированных заводах, где технологические процессы полностью механизированы и в значительной степени автоматизированы. На строительной площадке происходит лишь монтаж изготовленных конструкций, где и существуют определенные проблемы, которые приводят к увеличению сроков строительства, а также к увеличению трудовых и финансовых затрат.

Строительные конструкции имеют большое количество типов и размеров, но, несмотря на это, производство строительно-монтажных работ сводится лишь к ряду последовательных однотипных операций. Такими операциями являются:

- такелажные работы с целью закрепления конструкций для их транспортирования с места складирования к месту установки;
- транспортирование, пространственная ориентация конструкции в процессе транспортирования и в зоне монтажа;
- предварительная установка конструкции, выверка ее положения в процессе установки;
- предварительное закрепление, коррекция положения по месту установки;
- закрепление в штатном положении и соединение с другими конструкциями в единое целое.

Увеличение этажности и размеров зданий, увеличение пролётов конструкций, применение большиеразмерных элементов увеличивает объемы грузоподъемных работ, а, следовательно, возрастает необходимость увеличения массы и скорости перемещения грузов, поэтому ведущим звеном на строительной площадке, безусловно, является башенный кран, как главный и наиболее дорогостоящий механизм, обеспечивающий, в том числе, и многопоточ-



ность строительства. Для достижения максимальной эффективности его работы необходимо стремиться к максимальной загрузке и занятости.

Для представления процессного (динамического) уровня, по схеме (см. Рисунок 4.1), выбрано соединение *сопряженных процессов* на примере монтажа панельного здания. При этом первый процесс связан с увеличением монтажной отметки, а второй с изменением количества звеньев в бригаде. При монтаже здания из «осредненных» панелей коэффициент загрузки крана можно определить по формуле [106]:

$$k_{\text{загр}} = \frac{\sum_1^N P t_{\text{зан}}^n}{t_{\text{общ}}} \rightarrow \max \quad (4.5)$$

где  $t_{\text{зан}}^n$  - время занятости крана на подаче одной панели для монтажа на  $n$ -ый этаж;  $t_{\text{общ}}$  - общее рабочее время на возведение корпуса;  $n$  – порядковый номер монтируемого этажа;  $N$  – количество этажей в монтируемом здании;  $P$  – количество «осредненных» панелей необходимых для монтажа одного этажа.

Как видно из формулы для увеличения коэффициента загрузки достаточно максимизировать его числитель за счет увеличения времени занятости крана. Время занятости крана на подаче одной панели для монтажа на  $n$ -ый этаж определяется суммой следующих слагаемых:

$$t_{\text{зан}}^n = t_{\text{гор}} + t_{\text{тр}} + t_{\text{верт}}(n - 1) + t_{\text{уд}} \quad (4.6),$$

где  $t_{\text{гор}}$  – среднее время перемещения панели по горизонтали от места складирования до места монтажа (строповка, перемещение, удержание на время монтажа, расстроповка, возврат);  $t_{\text{верт}}$  – время перемещения панели по вертикали в пределах одного этажа;  $t_{\text{тр}}$  – время торможения и разгона;  $t_{\text{уд}}$  - время занятости крана на монтаж и расстроповку панели.

Количество звеньев  $K$  в бригаде, на каждом этаже, монтирующих  $P$  панелей определяется из условия минимума затрат в двух случаях: ожидания звеном момента освобождения крана или простоя крана, ожидающего конца монтажа.

$$K = \arg \left\{ \min_{n \in N} \left[ C_1 P(K t_{\text{зан}}^n - t_{\text{норм}}); C_2 \frac{P}{K-1} (t_{\text{норм}} - (K-1) t_{\text{зан}}^n) \right] \right\}; K \geq 1 \quad (4.7),$$

где  $C_1$  - стоимость единицы времени ожидания крана для звена;  $C_2$  - стоимость единицы времени простоя крана;  $t_{\text{норм}}$  - нормативное время монтажа одной панели одним звеном.

Поставленная задача относится к классу задач целочисленного программирования (ЦП).

Результаты решения представляются графиками зависимостей количества звеньев в бригаде от этажности здания для разных моделей крана на рисунках ниже (см. Рисунок 4.8, Рисунок 4.9, Рисунок 4.10, Рисунок 4.11).

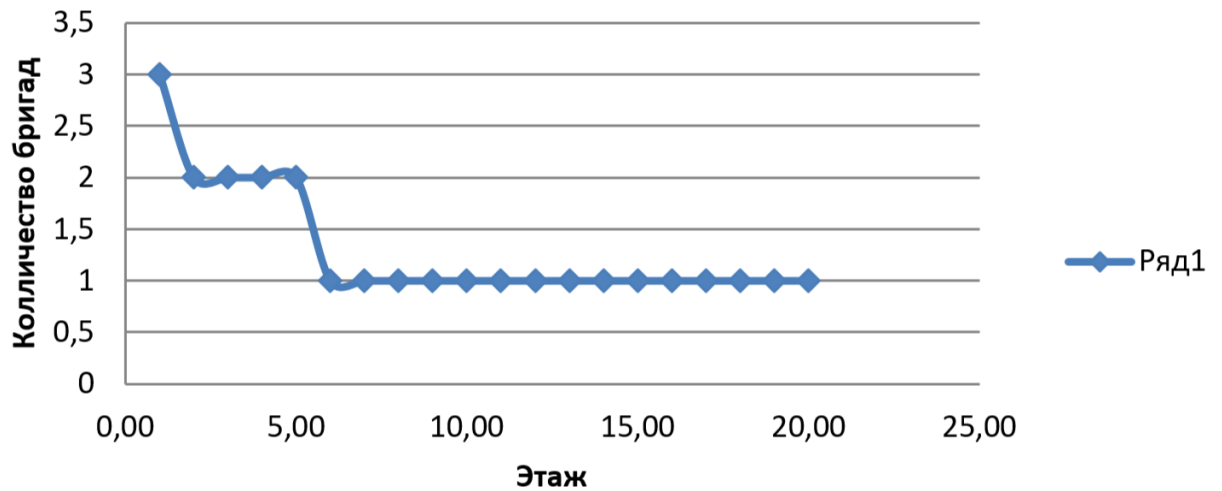


Рисунок 4.8 - График зависимости количества бригад от этажности при работе башенного крана КБ-405

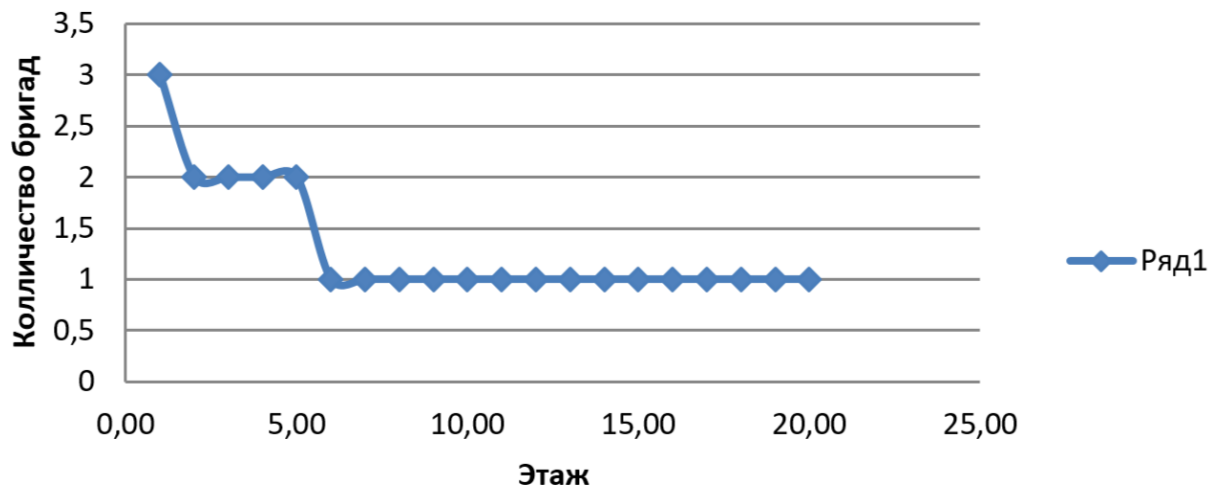


Рисунок 4.9 - График зависимости количества бригад от этажности при работе башенного крана КБ-401ПА

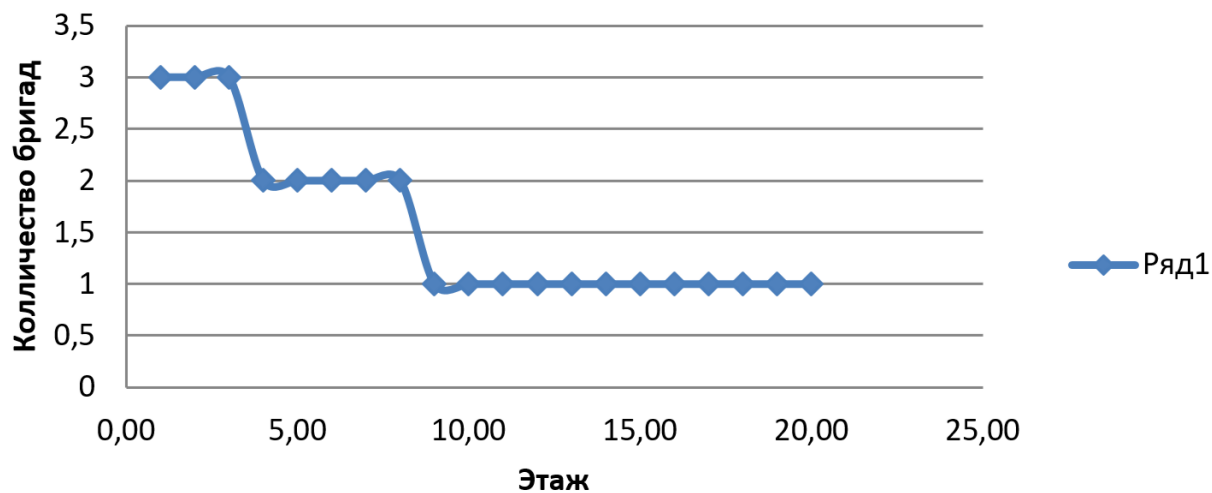


Рисунок 4.10 - График зависимости количества бригад от этажности при работе башенного крана КБ-571Б

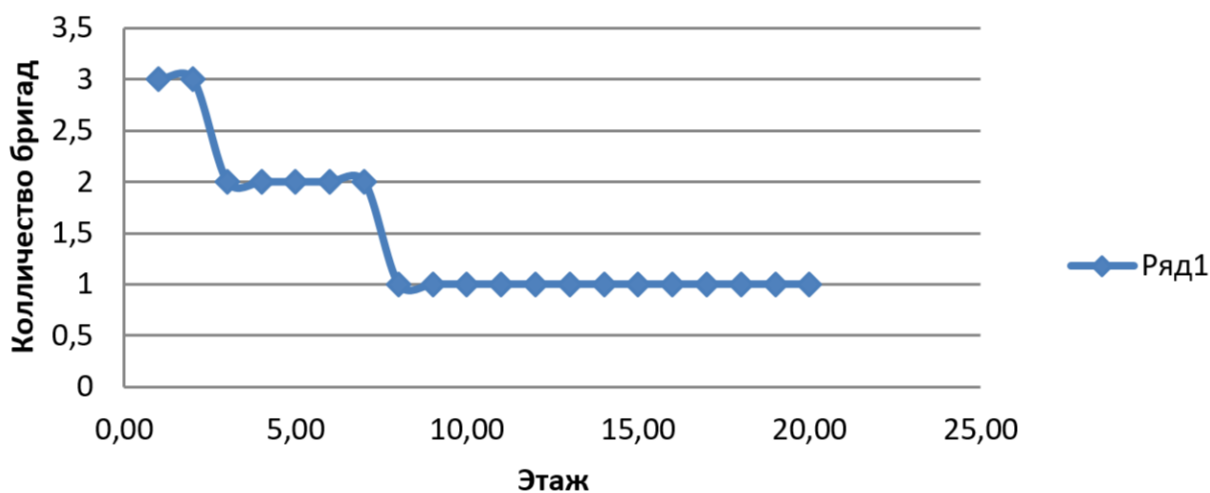


Рисунок 4.11 - График зависимости количества бригад от этажности при работе башенного крана КБ-474А

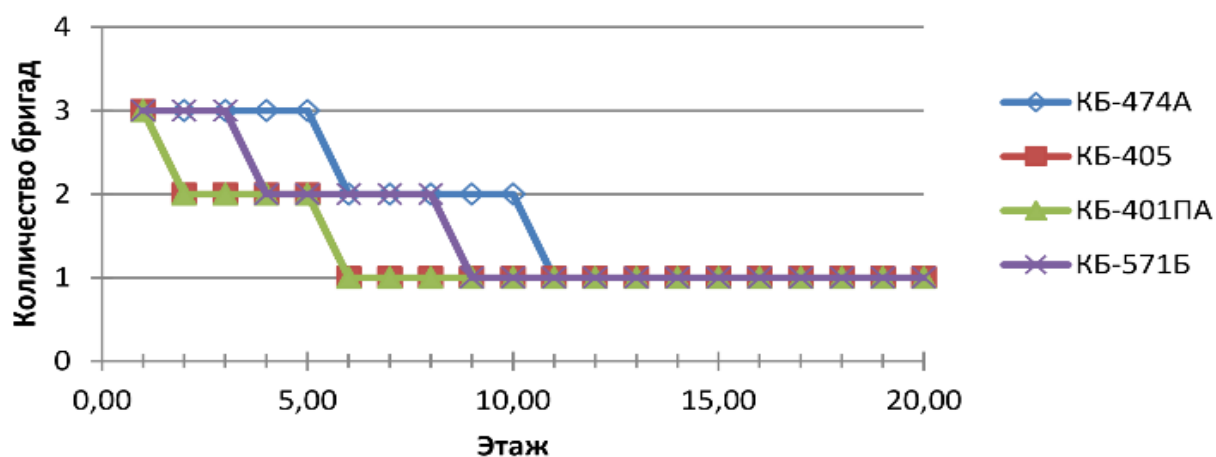


Рисунок 4.12 – Зависимость количества звеньев в бригаде от этажности здания для разных моделей крана.

Оптимальное количество звеньев бригады, участвующих одновременно при монтаже панельного здания экспоненциально зависит от его высоты. При этом: наибольшее количество звеньев должно быть занято на монтаже первых этажей; с ростом монтажной отметки в здании количество звеньев экспоненциально снижается (см. Рисунок 4.12).

#### 4.4 Оптимальное управление заказом панелей

Для представления экономического уровня (см. Рисунок 4.1), выбрано соединение с использованием *промежуточного процесса* на примере управления заказом и запасом на складе.

Основные направления дальнейшего совершенствования строительных технологий связаны с решением задач ресурсосбережения, повышения уровня гибкости строительных технологий, их безопасности, качества, снижения нагрузки на окружающую природную и социальную среду. Дополнительный толчок вносит конкуренция и стремление снизить себестоимость, что неизбежно приводят к стремлению оптимизировать расходы на строительное производство.

Как показано выше, для повышения эффективности строительного производства необходимо увеличивать коэффициент загрузки крана. Здесь управление сводится к рациональной организации работ, в частности к выбору момента заказа и количества панелей в этом заказе, причем эти два параметра изменяются во времени, поскольку с ростом количества этажей строящегося здания скорость потребления панелей  $R$  снижается.

Изменение остатка панелей  $Q$  на складе пропорционально разности скорости поступления панелей  $S$  и скорости их расходования  $R$ :

$$\frac{dQ}{dt} = S - R \quad (4.8)$$

При этом необходимо обеспечивать минимальный запас на складе строительной площадки:

$$Q_{\text{зап}} = \frac{Q_{\text{общ}}}{T} \cdot n \cdot k_1 \cdot k_2 \quad (4.9)$$

где  $Q_{\text{общ}}$  – общее количество материала данного вида (изделия, конструкции), необходимого для строительства ( $\text{м}^3$ , шт,  $\text{м}^2$ , тыс. шт...);  $T$  – продолжительность работ, выполняющихся с использованием этих материальных ресурсов, дни (из календарного графика);  $n$  – норма запаса материала данного вида в днях на площадке;  $k_1$  – коэффициент неравномерности поступления материалов на склад (для автомобильного транспорта  $K_1=1,1$ );  $k_2$  – коэффициент неравномерности потребления материала в течение расчетного периода,  $k_2=1,3$ .

Изменение скорости монтажа (скорость расходования панелей), определенное выше при расчете предыдущего механизма соединения процессов, аппроксимируем экспонентой:

$$R(t) = A \exp(-\lambda t), \quad -\frac{dR}{dt} = \lambda A e^{-\lambda t} \quad (4.10)$$

где  $A, \lambda$  – константы аппроксимации.

Управлять складом можно двумя параметрами  $Q$  и  $S$ . При этом и увеличение запаса (остаток на складе  $Q$ ), и объема заказа ( $S$ ) ведет к снижению экономической эффективности, а, следовательно, необходимо минимизировать каждый из них. Воспользовавшись методом аналитического конструирования регуляторов профессора А.М. Летова [125,36], выберем следующий функционал оптимального управления в этой задаче:

$$\int (Q^2 + \alpha S^2) dt \rightarrow \min \quad (4.11)$$

где  $\alpha$  – размерный коэффициент.

Зная уравнение объекта и функционала можно составить классический лагранжиан [186]:

$$L = Q^2 + \alpha S^2 + \psi \left( \frac{dQ}{dt} - S + R \right) \quad (4.12)$$

где  $\psi$  – множитель Лагранжа.

Минимума функционала можно достигнуть, составляя уравнения Эйлера:

$$\frac{\partial L}{\partial Q} - \frac{d}{dt} \left( \frac{\partial L}{\partial \dot{Q}} \right) = 0; \quad \frac{\partial L}{\partial S} = 0 \quad (4.13)$$

Выполняя дифференцирование получим систему двух уравнений

$$\begin{cases} 2Q - \frac{d\psi}{dt} = 0 \\ 2\alpha S - \psi = 0 \end{cases} \quad (4.14)$$

Отсюда получаем, что

$$\begin{cases} \frac{d\psi}{dt} = 2Q \\ \psi = 2\alpha S \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \psi = 2 \int Q dt \\ \psi = 2\alpha S \end{cases} \quad (4.15)$$

или

$$2 \int Q dt = 2\alpha S \quad (4.16)$$

Выражая отсюда  $S$  и подставляя полученное выражение в . получим

$$\frac{dQ}{dt} = \int \frac{Q}{\alpha} dt - R \quad (4.17)$$

Теперь дифференцируя уравнение по времени получим неоднородное дифференциальное уравнение второго порядка:

$$\frac{d^2 Q}{dt^2} - \frac{Q}{\alpha} = -\frac{dR}{dt} \quad (4.18)$$

Решение однородного уравнения находим в [9]

$$Q_{\text{одн}} = C_1 \operatorname{ch} t \sqrt{\frac{1}{\alpha}} + C_2 \operatorname{sh} t \sqrt{\frac{1}{\alpha}} \quad (4.19)$$

Частное решение ищется в виде правой части уравнения . Правую часть в соответствии с результатами работы [105] выбираем в виде экспоненты

$$Q_{\text{ч}} = AR = Ae^{-\lambda t}; \quad -\frac{dR}{dt} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (4.20)$$

Подставляя эти выражения в уравнение получим

$$A\lambda^2 e^{-\lambda t} - \frac{A}{\alpha} e^{-\lambda t} = \lambda e^{-\lambda t} \quad (4.21)$$

Сокращая на экспоненту обе части уравнения получим

$$\lambda^2 A - \frac{1}{\alpha} A - \lambda = 0 \quad (4.22)$$

Имеем два корня этого уравнения

$$A = \frac{\alpha\lambda}{\alpha\lambda^2 - 1} \quad (4.23)$$

Общее решение равно сумме решения однородного уравнения и частного решения

$$Q = C_1 \operatorname{ch} t \sqrt{\frac{1}{\alpha}} + C_2 \operatorname{sh} t \sqrt{\frac{1}{\alpha}} + \frac{\alpha\lambda}{\alpha\lambda^2 - 1} e^{-\lambda t} \quad (4.24)$$

Для нахождения постоянных интегрирования используем начальные и граничные условия

$$t = 0; Q = Q_0; t = t_f; Q = 0 \quad (4.25)$$

Подставляя полное решение получим

$$\begin{cases} C_1 + \frac{\alpha\lambda}{\alpha\lambda^2 - 1} = Q_0 \\ C_1 \operatorname{ch} t_f \sqrt{\frac{1}{\alpha}} + C_2 \operatorname{sh} t_f \sqrt{\frac{1}{\alpha}} + \frac{\alpha\lambda}{\alpha\lambda^2 - 1} e^{-\lambda t_f} = 0 \end{cases} \quad (4.26)$$

Решение имеет вид

$$\begin{cases} C_1 = Q_0 - \frac{\alpha\lambda}{\alpha\lambda^2 - 1} \\ C_2 = \frac{\frac{\alpha\lambda}{\alpha\lambda^2 - 1} (\operatorname{ch} t_f \sqrt{\frac{1}{\alpha}} - e^{-\lambda t_f}) - Q_0 \operatorname{ch} t_f \sqrt{\frac{1}{\alpha}}}{\operatorname{sh} t_f \sqrt{\frac{1}{\alpha}}} \end{cases} \quad (4.27)$$

$$S = \frac{1}{\alpha} \int Q = \frac{1}{\alpha} (C_1 \sqrt{\alpha} \operatorname{sh} t \sqrt{\frac{1}{\alpha}} + C_2 \sqrt{\alpha} \operatorname{ch} t \sqrt{\frac{1}{\alpha}} - \frac{\alpha}{\alpha\lambda^2 - 1} e^{-\lambda t}) \quad (4.28)$$

$$Q = C_1 \operatorname{ch} t \sqrt{\frac{1}{\alpha}} + C_2 \operatorname{sh} t \sqrt{\frac{1}{\alpha}} + \frac{\alpha\lambda}{\alpha\lambda^2 - 1} e^{-\lambda t} \quad (4.29)$$

На графике (см. Рисунок 4.13) показано оптимальное изменение запасов на складе - верхняя кривая (зеленая) и количества заказов - нижняя (красная) кривая для значений  $\lambda = 0,6$ ;  $\alpha = 0,6$ . На следующем графике (см. Рисунок 4.14) показаны зависимости для значений коэффициента  $\lambda = 0,6$  и для двух значений: для верхних графиков (красный и зеленый) -  $\alpha = 1,5$ , для нижних -  $\alpha = 0,3$ .

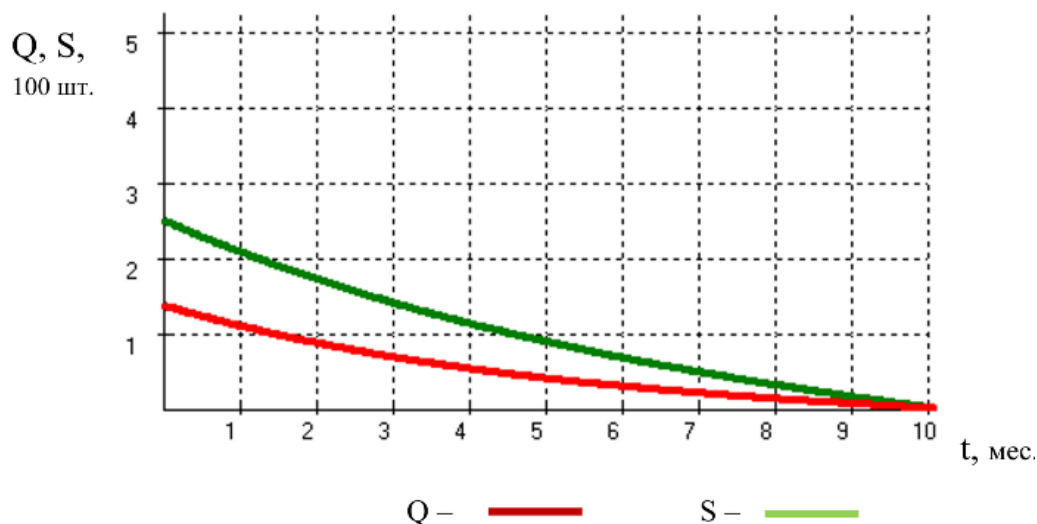


Рисунок 4.13 Зависимость изменения запасов на складе - верхняя (зеленая) кривая и объема заказа - нижняя (красная) кривая при изменениях коэффициентов  $A, \psi, \alpha$ .

Полученные зависимости позволяют сделать следующие выводы:

- 1) минимальный размер запасов на складе должен уменьшаться экспоненциально до нуля, а не оставаться постоянным, как того требуют стандарты.
- 2) все графики для любых возможных значений параметров имеют тенденцию монотонно уменьшаться до нуля в конце монтажа здания.

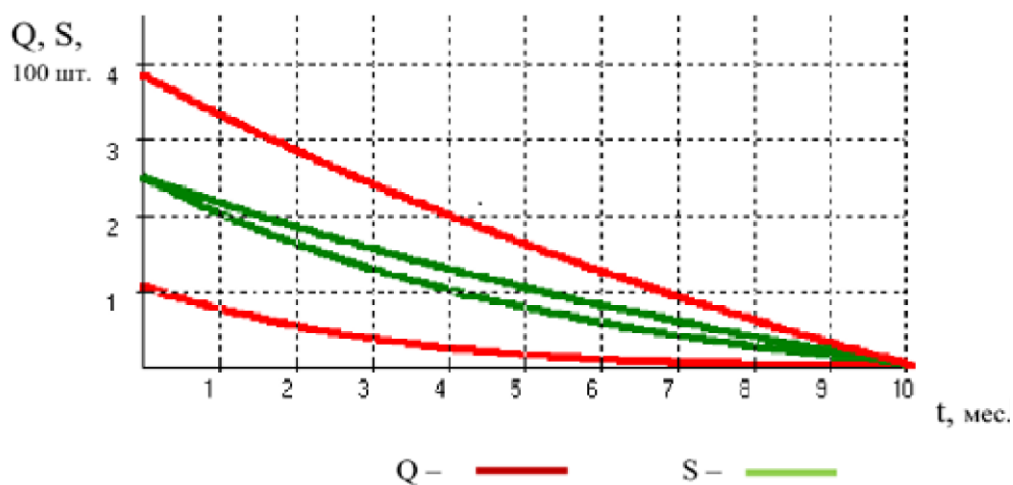


Рисунок 4.14 - Графики изменения запасов на складе и объема заказа с изменением коэффициентов  $\lambda$  и  $\alpha$ .

- 3) увеличение коэффициента  $\alpha$  увеличивает вогнутость графика запасов на складе и увеличивает график объемов заказа;
- 4) увеличение коэффициента  $\lambda$  увеличивает график объема заказа и уменьшает вогнутость графика запасов на складе;



5) Коэффициент  $\alpha$  имеет нижний порог, ниже которого появляются отрицательные величины порядка.

Таким образом, чтобы оптимально управлять заказом строительных элементов в панельном домостроении, необходимо экспоненциально сокращать объемы заказов по мере приближения к завершению монтажа здания [14]. Остатки строительных конструкций на складе также должны уменьшиться в геометрической прогрессии до нуля.

#### **4.5 Программная реализация СППР с применением разработанных алгоритмов и методик**

Результаты теоретических исследований позволяют предложить как общий алгоритм автоматизированного рабочего места руководителя строительства (см. Рисунок 4.15), так и частные алгоритмы, реализующие решение задач оптимального управления.

Общий алгоритм содержит в основе главное меню, включающее 10 опций. Вначале осуществляется инициализация всех переменных параметров, затем считывается начальная информация либо с датчиков, либо по запросу вводится пользователем. После проверки штатности ситуации алгоритм выходит на главное меню со следующим предназначением опций.

1. Работа с файлами включает считывание, редактирование и сохранение файлов с различной производственной информацией. Здесь же предусмотрен общий выход из программы.

2. Монтаж содержит полную информацию о ходе монтажа, а также содержит вспомогательные программы постановки и решения задач оптимального управления именно монтажными операциями. Здесь же находится информация о монтажной бригаде, ее готовности к монтажным работам в начале и изменениях состава в ходе работы.

3. Склад не только отражает состояние склада, но также позволяет ставить и решать задачи оптимального управления. Здесь же можно узнать об обслуживающем персонале.

4. Кран. Опция предоставляет полную информацию о готовности крана, его возможностях и выполняемой в данный момент работе.

5. Видеокамеры. Опция предоставляет информацию со всех имеющихся на строительной площадке камер и позволяет управлять ими, если у них есть такая возможность

6. Выполнено. Опция показывает выполненную часть работы, а так же готовность к выполнению работы, оставшейся по плану по плану.

7. Расходы. Представляются как уже произведенные затраты, так и предстоящие с перечислением их видов.

8. План. Опция предоставляет возможность не только узнать какие объемы монтажа запланированы на текущее время, но и связывает с общим электронным проектом.

9. СНиПы. Опция предоставляет действующие требования с необходимыми пояснениями.

10. Справка. Здесь можно найти ответы по всем возникающим на строительной площадке вопросам.

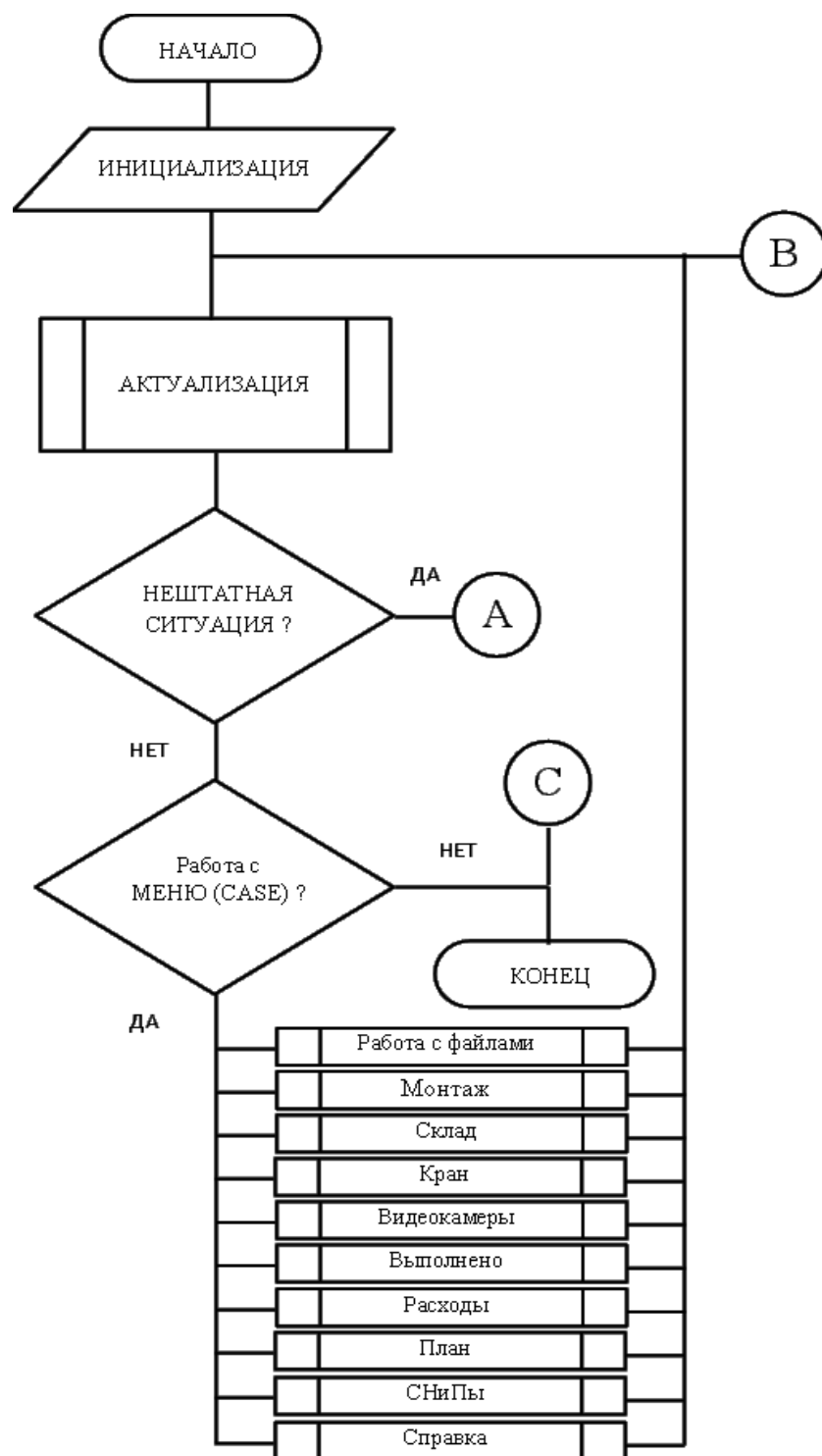


Рисунок 4.15 – Основной алгоритм СППР

В случае нештатной ситуации помощь компьютерной программы может оказаться более востребованной, чем при нормальном протекании технологического процесса. В аварийных ситуациях человек теряется, вплоть до панического ступора. В этом случае техника должна максимально полагаться на показания датчиков, либо лишь на ответы по диагностическим вопросам. Программа в этих случаях переключается на дополнительное меню (см. Рисунок 4.16), включающее следующие опции.

Монтаж. Опция должна оказывать помощь при технологических нарушениях: ошибках монтажа, проблемах сборки, аварийных падениях конструктивных элементов и т.д.

Персонал. В этой опции предоставляется реакция на нездоровье персонала, несчастные случаи, неявка на работу и т.д.

Кран. Здесь предлагается реакция на различные неисправности крана, зацепление грузов, повреждение крановых путей и т.д.

Сварка. Опция помогает найти причины срывов сварки, прожигания, разбрызгивания жидкого металла и другие нарушения технологии.

Материалы. Эта опция предоставляет консультацию в случае внезапного разрушения материалов, несоответствия их качества технологическим требованиям или ситуации, сложившейся в ходе монтажа, необходимости их замены и т.д.

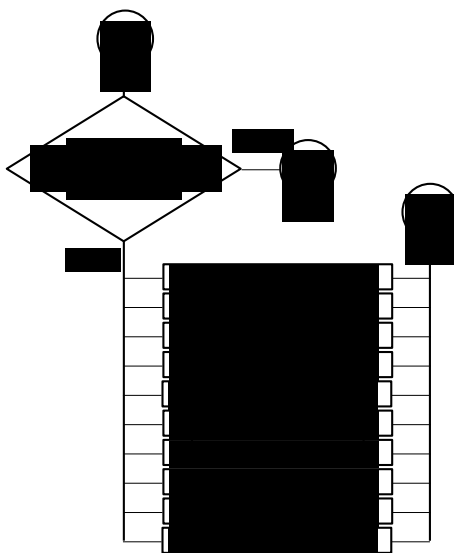


Рисунок 4.16 – Схема алгоритма формирования реакций в нештатных ситуациях.

Строительные элементы так же могут создать нештатную ситуацию в случаях нарушения их размеров, внезапного разрушения, несоответствия прочностных характеристик.

Вспомогательное оборудование в виде различных строповочных, прихваточных, поддерживающих устройств так же может вызвать нештатную ситуацию, требующую помощи данной компьютерной программы.

Непогода в первую очередь влияет на работу крана, но штормовой ветер может затронуть и персонал и уже смонтированные конструктивные элементы.

Отключение инженерных сетей электрических, водообеспечивающих, канализационных пневматических (если имеются) так же может создавать проблемы. Формирование решений по снятию этих проблем относится к этой опции.

В настоящее время широкое распространение при разработке проекта получают технологии информационного моделирования (ТИМ (BIM - Building Information Model)) и создание цифровой информационной модели здания (ЦИМ) [167,205]. С целью связи разработанного программного обеспечения и ЦИМ разработано программное средство координатной привязки строительных конструкций.

Описанные действия хорошо увязываются с технологией информационного моделирования. Система поддержки принятия решений с применением технологии информационного моделирования приведена ниже (см. Рисунок 4.17).

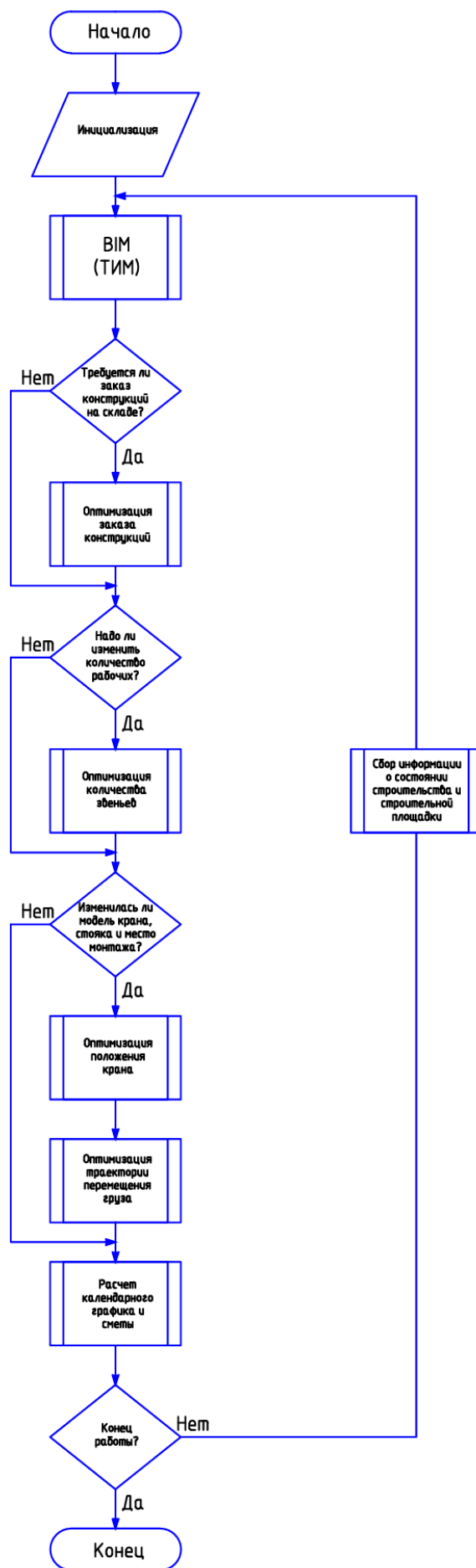


Рисунок 4.17 - Система поддержки принятия решений с применением технологии информационного моделирования.

Программная реализация разработанных алгоритмов осуществлялась на языке DELPHI 7.0. Экранная форма разработанной программы представлена ниже (см. Рисунок 4.18).

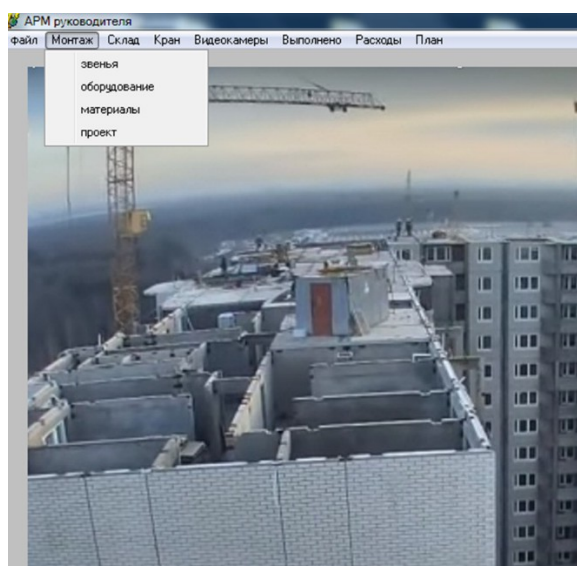


Рисунок 4.18 – Экранная форма программа АРМ руководителя.

В поиске способа получения координат была сформирована небольшая программа в модуле Dynamo для Revit [100]. Результат выводится в файле excel (см. Рисунок 4.19). Таблица, в качестве примера сформирована по категории «Несущий каркас», к этой же категории будут относиться сборные стеновые панели.

Координаты базисной точки

	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N
1	Имя типа	X	Y	Z	Уровень									
2	Family=Полка_300x12	Стенка_876x8	Полка_300x12	Type=Полка_300x12	Стенка_876x8	Полка_300x12								
3	Family=Полка_300x12	Стенка_876x8	Полка_300x12	Type=Полка_300x12	Стенка_876x8	Полка_300x12								
4	Family=Полка_300x12	Стенка_876x8	Полка_300x12	Type=Полка_300x12	Стенка_876x8	Полка_300x12								
5	ПК 49.12	2200	14825	7120	Level(Name=Покрытие, Elevation=7370)									
6	ПК 49.12	3400	14825	7120	Level(Name=Покрытие, Elevation=7370)									
7	ПК 49.12	4600	14825	7120	Level(Name=Покрытие, Elevation=7370)									
8	ПК 49.12	5800	14825	7120	Level(Name=Покрытие, Elevation=7370)									
9	ПК 49.15	7150	14825	7120	Level(Name=Покрытие, Elevation=7370)									
10	ПК 49.15	8650	14825	7120	Level(Name=Покрытие, Elevation=7370)									
11	ПК 49.15	10150	14825	7120	Level(Name=Покрытие, Elevation=7370)									
12	ПК 49.15	11650	14825	7120	Level(Name=Покрытие, Elevation=7370)									
13	ПК 49.15	13150	14825	7120	Level(Name=Покрытие, Elevation=7370)									
14	ПК 62.12	14200	19000	7120	Level(Name=Покрытие, Elevation=7370)									
15	ПК 62.12	14200	17800	7120	Level(Name=Покрытие, Elevation=7370)									
16	ПК 62.12	14200	16600	7120	Level(Name=Покрытие, Elevation=7370)									

Стальные балки.  
Моделируются как линейные элементы, т.е. имеют координату начальную и конечную. НЕ имеют базисной координаты

Сборные плиты перекрытия ПК.  
Моделируются как точки, которые имеют некоторый объем. Имеют базисную координату.

Рисунок 4.19 – Таблицы исходной информации.

Исходный вид модели изображен ниже (см. Рисунок 4.20, Рисунок 4.21).

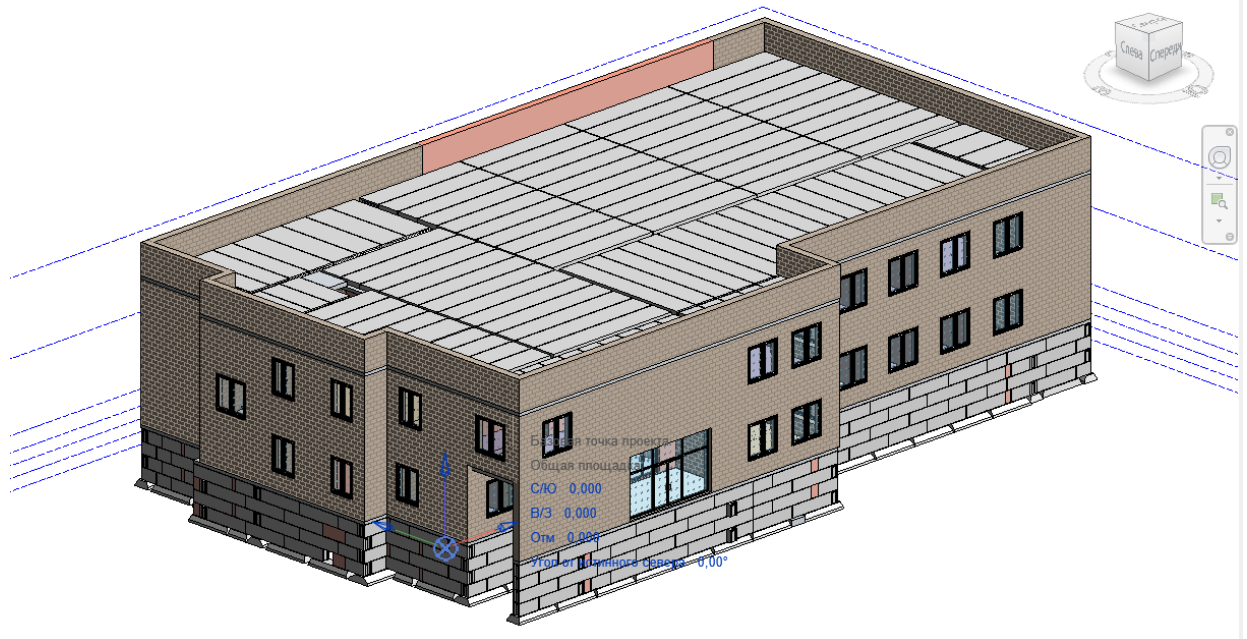


Рисунок 4.20 – Модельное представление.

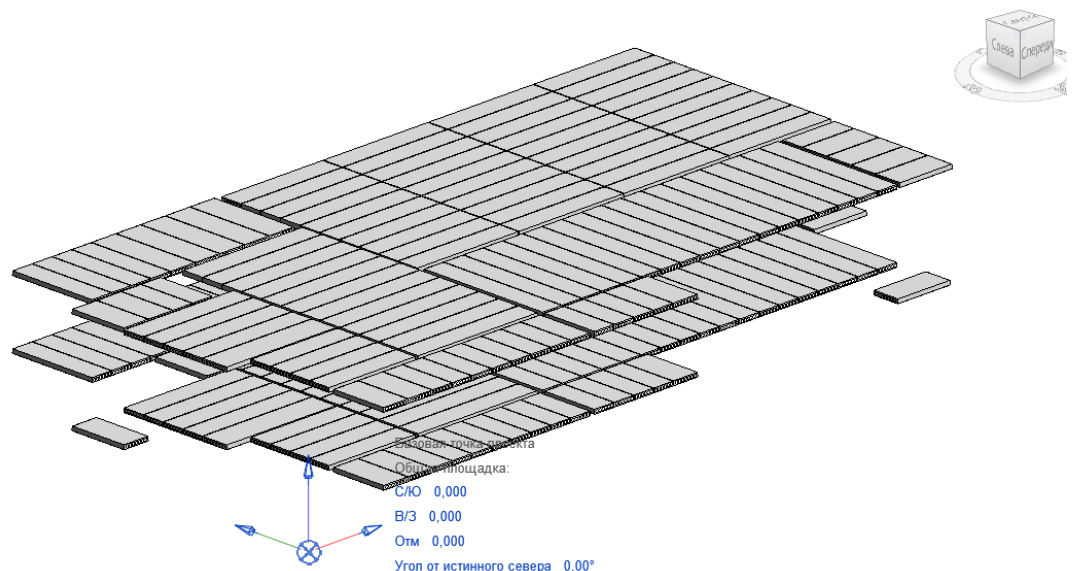


Рисунок 4.21 - Отображение только элементов «Несущего каркаса».

Структура программки на Dynamo с пояснениями. Координаты точек определяются относительно начала координат модели. Ноды point.x, point.y, point.z подсвечены желтым, потому что выдают ошибку, т.к. программа пытается определить координаты точки для линейного элемента (стальные балки в модели) (см. Рисунок 4.22).





По итогу выполнения программы получено облако точек и линий в модели Dynamo (см. Рисунок 4.23).

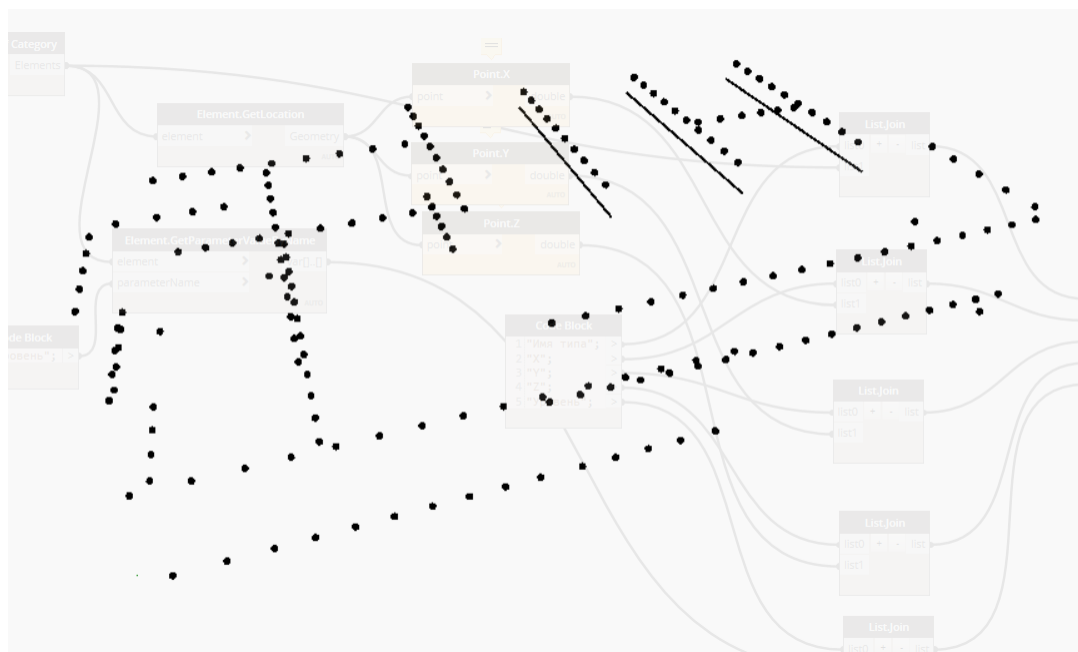


Рисунок 4.23 - Облако точек и линий в модели Dynamo.

Также это облако точек отображено в модели Revit (см. Рисунок 4.24).

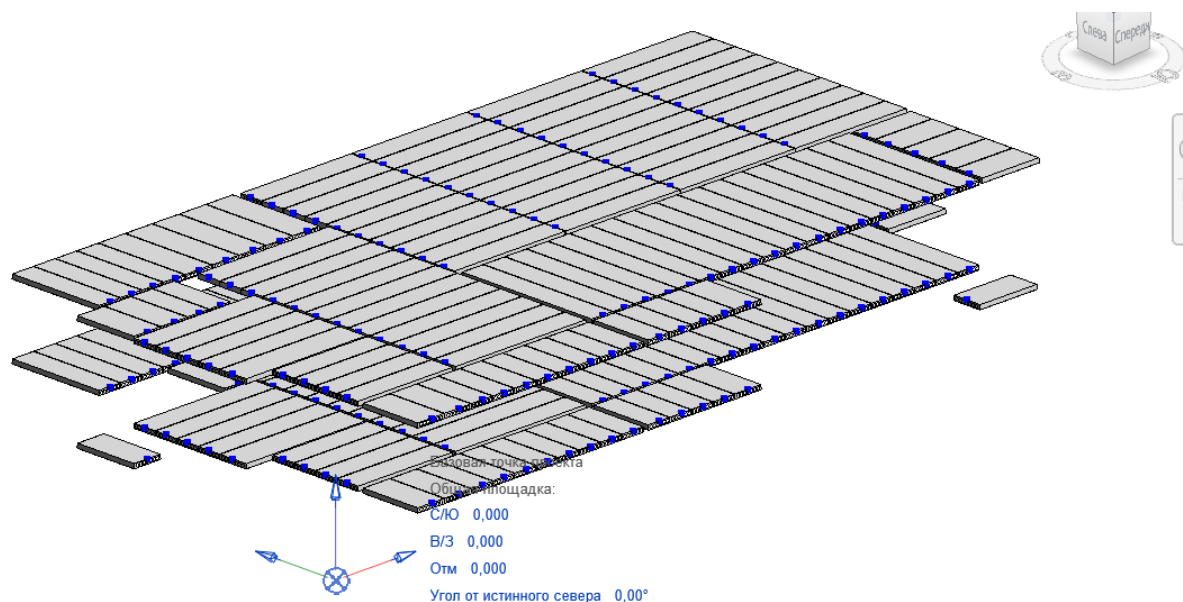


Рисунок 4.24 - Облако точек и линий в модели Dynamo, отображенное в модели Revit.

Здесь можно возникает вопрос, связанный с размещением базисной точки сборного элемента на самом элементе. Связан он с тем, что плоскости, пересе-

чение которых задают начало (в пояснениях именуем как базисная точка), размещены со смещением в модели самих плит (см. Рисунок 4.25).

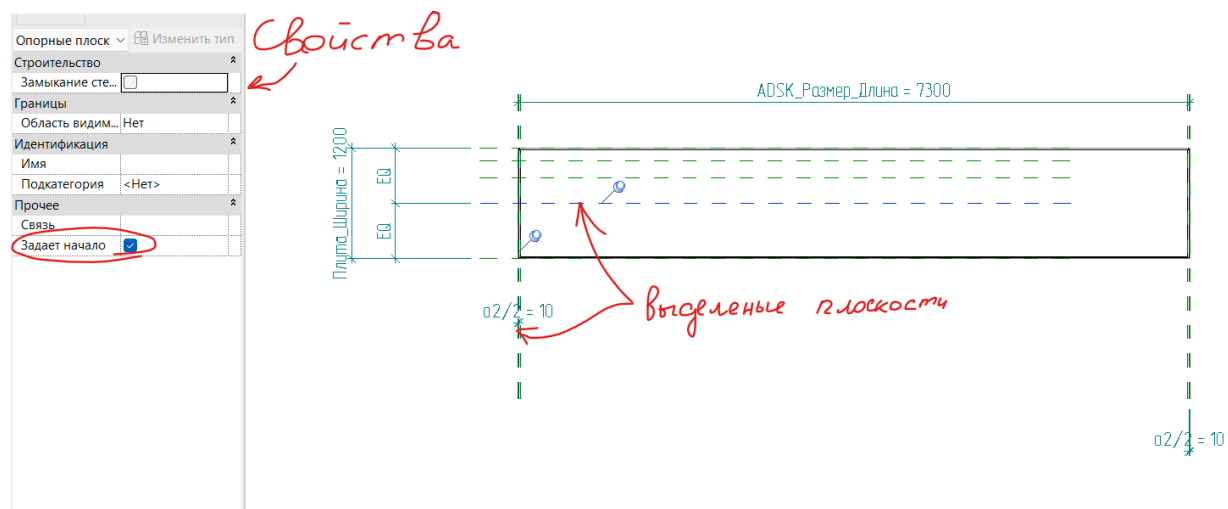


Рисунок 4.25 - Размещением базисной точки сборного элемента на самом элементе.

По итогу выполнения программы получаем таблицу excel с данным о координатах базисной точки элементов модели, которые моделируются точками, а также информацию о уровне их расположения.

## ВЫВОДЫ ПО ЧЕТВЕРТОЙ ГЛАВЕ

1. Соединение процессов строительного производства реализуется преимущественно на строительной площадке. При этом стратифицированная модель позволяет системно разделить выполняемые виды работ с привязкой к экономическому уровню задачи планирования запасов на складе, к процессному уровню задачи назначения количества звеньев в бригаде, к системному уровню задачи определения места стоянки крана.

2. Критерий минимального времени перемещения груза со склада к месту монтажа позволяет поставить и решить задачу определения оптимального расположения крана. Выявлена зависимость оптимального расположения крана от соотношения скоростей поворота стрелы и перемещения груза вдоль стрелы. Показано, что минимальное время перемещения груза достигается расположением крана на линии, перпендикулярной отрезку между складом и местом монтажа.

3. Критерий минимального ожидания монтажным звеном крана или краем окончания работы монтажного звена позволяет поставить и решить задачу целочисленного линейного программирования с привязкой полученного решения к монтажной отметке. Показано, что количество звеньев по мере увеличения монтажной отметки уменьшается в зависимости близкой к экспоненциальной

4. Критерий минимальных затрат на хранение и доставку строительных конструкций позволяет поставить и решить задачу оптимального управления запасом строительных конструкций на складе и величиной заказа. Использование выявленной экспоненциальной зависимости расхода строительных конструкций на монтаж ведет к экспоненциальной же зависимости уменьшения величины запаса и заказа строительных конструкций по мере увеличения монтажной отметки.

5. Система поддержки принятия решений руководителя строительной площадкой позволяет осуществлять полный мониторинг ситуации, помогает

принимать решения в сложных случаях, требующих расчетов или длинных логических цепочек, наконец, полностью обеспечивает всей необходимой информацией ЛПР.

6. При разработке алгоритма компьютерной поддержки процесса принятия решений на строительной площадке реакцию программы лучше разбивать на два класса – в штатных и нештатных ситуациях.

## ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Проведенное исследование привело к следующим выводам и результатам:

1. Разработана многоуровневая модель соединения процессов, позволяющая оценивать и оптимизировать это соединение с точки зрения пяти аспектов: компонентного, системного, процессного, экономического и социального. Такой подход детализирует анализ процедуры соединения и позволяет контролировать вклады каждого уровня.

2. Структура процедуры соединения процессов должна быть двухэтапной. На первом этапе оптимизируется готовность процессов к соединению, а на втором контролируются и корректируются параметры реального соединения.

3. Марковская модель оценки и управления готовностью, совместно с проектной симметризацией, позволяют поставить задачу оптимального управления готовностью на первом этапе. В результате её решения выявлено, что увеличение проектной плотности вероятности уменьшает управленческие затраты на повышение готовности процессов. Это означает, что чем выше предварительная упорядоченность условий соединения, тем ниже будут затраты на подготовку процессов к соединению.

4. Проведена классификация механизмов соединения процессов в зависимости от параллельной, последовательной или встречно-параллельной схем, дискретности или непрерывности, а также от наличия несогласованности в производительности. Показано, что инструментами соединения могут быть: промежуточный процесс, процесс-передатчик или процесс сопряжения.

5. Полученное оптимальное решение в механизме соединения сопряженных процессов в совокупности с выявленным графиком заказов панелей показывает теоретическую оценку экономии времени на монтаж при строительстве 20-ти этажного панельного здания с применением крана КБ 474-А до 31%.

6. Решение задачи по выбору места установки крана и минимизации времени перемещения грузов показывает выгодность: использования крана с большим вылетом стрелы, симметрично расположенного относительно склада и места монтажа. В совокупности может быть достигнута экономия общего времени занятости при строительстве 20-ти этажного панельного здания применяемого крана КБ 474-А до 5%.

7. Разработанные модели и методики прежде всего направлены на экономию времени и управленческих ресурсов при соединении процессов, что способствует повышению эффективности при реализации этой процедуры и одновременно достижению цели диссертационного исследования.

Эти выводы показывают, что эффективность строительного производства, оцениваемую, как целерезультативность, ресурсозатратность и оперативность повышается путем оптимизации соединения процессов транспортировки, складирования, грузоподъема и монтажа строительных конструкций. Одновременно этим доказывается достижение цели исследования.

**Направления будущих исследований.** Исследование можно продолжить в направлении разработки общей методологии соединения процессов в много-процессной системе, построения процедуры подготовки процессов к соединению, как проектной, с внесением в проектные показатели вероятностных оценок, технологий информационного моделирования соединения производственных процессов.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Alter S. L. Decision support systems : current practice and continuing challenges. Reading, Mass.: Addison-Wesley Pub., 1980.
2. Baiburin A.K., Golovnev S.G. Implementation of pile foundation quality and service ability./The Proceedings of the International Geotechnical Symposium "Geotechnical aspects of Natural and Man-Made Disastery".-Astana, Kazakhstan Geotechnical Society, 2005.-p.144-147.
3. Bonczek R.H., Holsapple C., Whinston A.B. Foundations of Decision Support Systems.- New York: Academic Press, , 1981.
4. Chang H.W. Understanding Quality Assurance in Constractions. A Practical Guide to ISO 9000 for Constructors.-Tailor&Francis, 2002. 262 p.
5. Georg N. Krieg. Kanban-Controlled Manufacturing Systems. — Germany: Springer-Verlag Berlin Heidelberg, 2005. — 236 c. — ISBN 3-540-22999-X.
6. Gopal K Kanji, Mike Asher 100 Methods for Total Quality Management. SAGE Publications Ltd - 1996 -256 p.
7. Hierarchical selection of technological equipment for the production system/Pishchukhin, A.M., Akhmedyanova, G.F./IOP Conference Series: Earth and Environmental Science.- Volume 378, Issue 1, 14 November 2019.- N 012024
8. Huan Chen The Quality risk management in residential building across the construction process.-Dept. of Building and Real Estate, 2012.
9. Kamke E. Handbook of Ordinary Differential Equations. Moscow: Science. 1976. 576 p.
10. Kazaryan R. System approach to using information modelling technology in sustainable construction production development // Kazaryan R., Pogodin D., Andreeva P., Galaeva N., Tregubova E. / В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "Ural Environmental Science Forum "Sustainable Development of Industrial Region", UESF 2021" 2021.
11. Kuan Chung-Ming. Markov switching model. Quantile, 2013. - № 11. - pp. 13-39.



12. Kuleshov, I. Optimal organization of lifting operations at the construction site [Электронный ресурс] / I. Kuleshov, A. Pishchukhin // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2019. - Vol. 698: Proceedings of the International Scientific Conference on Construction and Architecture: Theory and Practice for the Innovation Development 2019, CATPID 2019, 1-5 October 2019, Kislovodsk, Russian Federation. - Electronic data. - P. 1-7. . - 7 с.

13. Kuleshov, I. V. Assessment and quality management of construction and installation works // IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, 2020, 913(4), 042029

14. Kuleshov, I. V. Optimum order management of building structures in panel building [Электронный ресурс] / Kuleshov I. V., Pishchukhin A. M. // Materials Science Forum : International Conference on Construction and Architecture: Theory and Practice of Industry Development, CATPID 2018, 2018. - Vol. 931. - P. 1255-1260. . - 6 с.

15. Kuleshov, I. V. The Parameter's Study of the Optimal Location of the Tower Crane Parking Place / Kuleshov I. V., Pishchukhin A. M. // Proceedings of the International Symposium "Engineering and Earth Sciences: Applied and Fundamental Research" dedicated to the 85th anniversary of H.I. Ibragimov (ISEES 2019)

16. Kuzhin M. Research of organizational and technological features of construction using modeling // Kuzhin M. / В сборнике: E3S Web of Conferences. 24. Сер. "24th International Scientific Conference "Construction the Formation of Living Environment", FORM 2021" 2021.

17. Lapidus A. Construction project organizational and technological parameters analysis // Lapidus A., Kuzhin M., Shesterikova I. / : IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. 23, Construction - The Formation of Living Environment. Сер. "XXIII International Scientific Conference on Advance in Civil Engineering: "Construction - The Formation of Living Environment", FORM 2020 - New Construction Technologies" 2020. С. 072047.

18. Lapidus A. Systemic integrated method for assessing factors affecting construction timelines // Lapidus A., Abramov I. / В сборнике: MATEC Web of

Conferences. 2018. C. 05033.]

19. Lapidus A.A. Integrated quality index of organizational and technological solutions for implementation of burundian capital master plan // Lapidus A.A., Yves N. / Materials Science Forum. 2018. T. 931. C. 1295-1300.

20. Norbert Wiener. Cybernetics or Control and Communication in the Animal and the Machine. (Hermann & Cie Editeurs, Paris, The Technology Press, Cambridge, Mass., John Wiley & Sons Inc., New York, 1948).

21. Pishchukhin A. Metasystem approach to increase the load factor FMS. // MATEC Web of Conferences. 2017. P. 04003

22. Power D. J. Web-based and model-driven decision support systems: concepts and issues. Americas Conference on Information Systems, Long Beach, California, 2000.

23. Ricky Smith, Bill Keeter FRACAS; Failure Reporting, Analysis, Corrective Action System. Reliabilityweb.com Press. 2010.123 p.

24. Shcherba N. Comprehensive bim system for control of construction production and resource support // Shcherba N., Kuzhin M. / В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "Ural Environmental Science Forum "Sustainable Development of Industrial Region", UESF 2021" 2021. C. 09010.

25. Steve Cayzer, Percy Griffiths & Valentina Beghetto Design of indicators for measuring product performance in the circular economy, International Journal of Sustainable, 2017,10:4-5, 289-298. DOI: 10.1080/19397038.2017.1333543

26. Tokarsky A. The concept of quality control of the organization of construction processes during construction supervision through the use of information technology // Tokarsky A., Topchiy D. / В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "Ural Environmental Science Forum "Sustainable Development of Industrial Region", UESF 2021" 2021.

27. Topchiy D. Organizational-and-technological solutions to optimize the quality control of building materials // Topchiy D., Chernigov V., Grunina I., Kochurina E. / В сборнике: E3S Web of Conferences. Сер. "Ural Environmental Science Forum "Sustainable Development of Industrial Region", UESF 2021" 2021.

28. Абдрашитов, Р.Т. Синтез оптимальных автоматических систем

управления сельскохозяйственными технологическими процессами : диссертация ... доктора технических наук : 05.13.07. – Оренбург, 1980. – 411 с.

29. Абрамов Л.И. Методика принятия решений по осуществлению мероприятий, обеспечивающих в процессе строительства, надежность сооружений./ в сб. ЦИНИС Управление строительством, сер. 1, вып. 3, 1978. – С.1-4.

30. Абрамов Л.И. Принципы и функциональное содержание системы обеспечения надежности сооружений в процессе строительства.// Известия вузов. Строительство и архитектура, 1979. – №9. – С.78-82.

31. Абрамов, Иван Львович Моделирование технологических процессов в малоэтажном жилищном строительстве. канд.дисс. – Москва, 2007. –190 с.

32. Аверин И.В. Контроль качества производства работ при возведении фундаментов и подземных сооружений в сложных грунтовых условиях. – канд. дисс. – М, 2017. –160 с.

33. Автоматизация производственных процессов в машиностроении: учебник / [Н. М. Капустин и др.] ; под ред. Н. М. Капустина. – Изд. 2-е, стер.. – Москва : Высш. шк., 2007. – ISBN 978-5-06-004583-3. – EDN QNBQIF.

34. Адам Франк-Михаэль Техническая диагностика и мониторинг при строительстве и эксплуатации быстровозводимых модульных зданий с учетом критериев безопасности и качества. – 2005. – 346 с.

35. Айгумов, Т.Г. Организационно-экономические аспекты управления и реализации конвейерного способа поточного строительства объектов / Т.Г. Айгумов, В.Б. Мелехин // Вестник евразийской науки. – 2019. – Т. 11, № 3. – С. 2.

36. Александров А.Г. Оптимальные и адаптивные системы. – М.: Высшая школа 1989. – 263 с.

37. Ангалев, Александр Михайлович Разработка методов повышения эксплуатационного качества строительных площадок в процессе возведения на слабонесущих грунтах. канд. дисс. – Москва, 2006. – 170 с.

38. Байбурин А. Х. Комплексная оценка качества возведения гражданских зданий с учетом факторов, влияющих на их безопасность Автореферат дисс. на соиск. уч. ст. д-ра техн. наук. – Санкт-Петербург, 2012. – 41 с.

39. Байбурин А.Х. Качество возведения крупнопанельных зданий. // Жилищное строительство. – 2002. – №10. – С. 10-11.
40. Барлиани, И.Я. Б253 Управление запасами в логистике [Текст] : учеб. пособие / И.Я. Барлиани, А.Г. Барлиани. – Новосибирск : СГУГиТ, 2018. – 73 с. ISBN 978-5-906948-99-1
41. Баулин, А.В. К вопросу об организационно-технологической надежности в строительстве / А.В. Баулин, М.Х. Кауфов // Вестник евразийской науки. – 2024. – Т. 16. – № 1. – URL: <https://esj.today/PDF/20SAVN124.pdf>
42. Безбородова А. Кредитный бум: марковские модели с переключением режимов // Банковский вестник. – 2015. – № 9. – С. 10-17.
43. Бессонов Л.А. Теоретические основы электротехники. Электрические цепи. – 9-е изд., перераб. и доп. – М.: «Высшая школа», 1996. – 638 с.
44. Богданов А.А. Тектология : всеобщая организационная наука. М. : Финансы, 2003. – Кн.1. – С. 304.
45. Богомолов Ю.М. Экспертные системы в управлении строительством. В кн. «Системотехника строительства»/под ред. А.А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. – С. 537-558.
46. Болотин С.А. Организация строительного производства / С.А. Болотин, А.Н. Вихров. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 208 с.
47. Болотова А.С. Проблемы внедрения технологии информационного моделирования в России / Болотова А.С., Маршавина Я.И. / Строительное производство. – 2021. – № 2. – С. 70-80.
48. Болотова, А.С. Повышение организационно-технологической надежности монолитного строительства : специальность 05.02.22 "Организация производства (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. 2017. – 147 с.
49. Бочков А.П. Эффективность автоматизированных систем управления экономическими объектами // Цифровая экономика и «Индустрия 4.0»: проблемы и перспективы: научно-практическая конференция. – СПб.: Изд-во Политехн. ун-та, 2017. – С. 628. – EDN: YKIEML
50. Бродский В.И. Организация операционного контроля в системе каче-

ства строительного производства // Системные технологии. – 2020. – № 3 (36). – С. 15-18.

51. Бугреев В.А., Маркин И.Н. Критерии выбора показателей эффективности обслуживания сложных технологических систем // Наука и техника транспорта, 2014. – № 4. – С. 64-66

52. Бурмистров А.В., Новиков А.В. Стохастическая кинетическая модель формирования цены // Международный научно-исследовательский журнал. – 2017. – № 07(61). – Ч. 3. – С. 107-112. EDN: ZBFJLX

53. Ватутина МС. Интенсификация монтажных работ при возведении панельных зданий. – канд. дисс. – 2004. 337 с.

54. Воловик М.В. Современные подходы к решению вопросов организационно-технологического проектирования // М.В. Воловик, М.Н. Ершов, А.В. Ишин, А.А. Лapidус, О.П. Лянг, В.И. Теличенко, П.П. Олейник, Д.К. Туманов, О.А. Фельдман / Технология и организация строительного производства. – 2013. – № 3. – С. 10-16.

55. Воронина Е.И. Организационно-технологические решения по управлению качеством для обеспечения эффективности строительного комплекса: на примере сборочно-укладочных работ. – канд. дисс. – Москва, 2007. – 281 с.

56. Вотякова О.Н. Оценка роли деятельности проектных организаций в общей структуре строительного контроля // Вотякова О.Н., Завгородний А.М. / БСТ: Бюллетень строительной техники. – 2018. – № 3 (1003). – С. 54-55.

57. Гвоздев В.Е. Комплексный анализ сетевых графиков на основе аппарата схем сопряжения / В.Е. Гвоздев, И.С. Симонов // Проблемы управления и моделирования в сложных системах : Труды XIX Международной конференции, Самара, 12–15 сентября 2017 года / Под редакцией Е.А. Федосова, Н.А. Кузнецова, В.А. Виттиха. – Самара: Общество с ограниченной ответственностью "Офорт", 2017. – С. 393-398.

58. Гилл Ф. Практическая оптимизация: пер. с англ. / Ф. Гилл, У. Мюррей, М. Райт. – М.: Мир, 1985. – 509 с.

59. Гинзбург А.В. Влияние мероприятий по повышению организационно-технологической надежности на функционирование строительной органи-

зации и планирование строительства / А.В. Гинзбург, П.Б. Жавнеров // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №3. – С. 94-96.

60. Гиря М.А. Организационно-технологическое обеспечение реконструкции городской застройки на основе мониторинга состояния геологической среды. – канд дисс. – Ростов-на-Дону, 2007. – 166 с.

61. Глудкин О. П., Горбунов Н. М., Гуров А. И. и др. Всеобщее управление качеством. – М.: Радио и связь, 1999. – 600 с.

62. Глумов В.М., Земляков С.Д., Рутковский В.Ю. Адаптивное координатно-параметрическое управление нестационарными объектами: некоторые результаты и направления развития // Автоматика и телемеханика, 1999, № 6, С. 100-116; Autom. Remote Control, 60:6 (1999), С. 839-851.

63. Горюнов А., Ямалиев Р.Р., Ахмедзянов Д.А. Метод структурного и параметрического синтеза и анализа энергоустановок // Молодой ученый. – 2011. – №2. Т.1. – С. 16-19. – URL <https://moluch.ru/archive/25/2638/> (дата обращения: 10.02.2023)

64. Гранов Г.С., Сафаров Г.Ш., Тагирбеков К.Р. Экономико-математическое моделирование в решении организационно-управленческих задач в строительстве. – М.: Изд-во АСВ, 2001. – 64 с.

65. Грачев В.А. Разработка методов повышения эксплуатационного качества и конкурентоспособности организационно-технологических решений реконструкции строений. – канд. дис. – Москва, 2005. – 159 с.

66. Григорьев И.П. Системотехника стратегического прорыва в принятии решений. В кн. «Системотехника строительства»/под ред. А.А. Гусакова. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. – С. 439-454.

67. Гусаков А.А. Организационно-технологическая надежность строительного производства (в условиях автоматизированных систем проектирования). – М.: Стройиздат, 1974. 252 с.

68. Гусаков А.Л. Схемотехника строительства. – М.: Стройиздат, 1993. – 368 с.

69. Дадар, Алдын-Кыс Хунаевна Развитие методологии сравнения методов организации работ по критерию минимума дополнительных затрат. –

канд. дисс. – Санкт-Петербург 2000. – 170 с.

70. Джахбаров А.М. Исследование взаимной увязки работы строительных бригад при строительстве многоэтажных жилых домов // Джахбаров А.М., Кужин М.Ф. / Научный аспект. – 2020. – Т. 5. № 4. – С. 594-600.

71. Дикман Л.Г. Организация строительного производства / Л.Г. Дикман. – М.: АСВ, 2003. – 512 с.

72. Додонова, Е.А. Анализ календарно-сетевых графиков в цифровой системе управления организацией / Е.А. Додонова, О.К. Головнин, А.В. Иващенко // XXI век: итоги прошлого и проблемы настоящего плюс. – 2023. – Т. 12, № 3(63). – С. 10-15.

73. Ефремов, М. А. Модели и алгоритмы управления качеством в саморегулируемых строительных организациях. – канд. дисс. – Воронеж, 2008. – 133 с.

74. Жавнеров П.Б. Повышение организационно-технологической надежности строительства за счет структурных мероприятий / П.Б. Жавнеров, А.В. Гинзбург // Вестник МГСУ. – 2013. – №3. – С. 196-200.

75. Жмудь, В.А. Адаптивные системы автоматического управления с единственным основным контуром / В.А. Жмудь // Автоматика и программная инженерия. – 2014. – № 2(8). – С. 106-122. – EDN VIUOQF.

76. Зайцев, Д.С. Особенности функционирования многоуровневых управляемых систем / Д.С. Зайцев // E-Scio. – 2021. – № 12(63). – С. 222-229.

77. Зацаринный, А.А. Алгоритм многопроцессного моделирования целевых и противодействующих процессов жизненного цикла высокотехнологичных систем управления / А.А. Зацаринный, С.В. Козлов // Информатика: проблемы, методология, технологии : Сборник материалов XIX международной научно-методической конференции, Воронеж: Издательство «Научно-исследовательские публикации» (ООО «Вэлборн»), 2019. – С. 1128-1137. – EDN ANPDJU. <https://www.elibrary.ru/item.asp?id=37422652>

78. Зеленцов А.Л. Организационный механизм управления качеством в строительстве в условиях саморегулирования. – канд. дисс. – Ростов-на-Дону, 2013. – 180 с.

79. Земляков С.Д., Рутковский В.Ю. Функциональная управляемость и настраиваемость систем координатно-параметрического управления // *АиТ*. – 1986. – № 2. – С. 21- 30.
80. Зобкова, Н.В. Оптимизация сетевого графика при поточной организации работ / Н.В. Зобкова // *Ресурсоэнергоэффективные технологии в строительном комплексе региона*. – 2021. – № 1(13). – С. 119-123.
81. Иванов, Н.А. Методы и модели поддержки принятия решений при управлении несоответствиями в системах менеджмента качества строительных организаций. – канд. дисс. – Москва, 2011. – 159 с.
82. Ильенкова С.Д., Ильенкова Д.Н., Мхитарян В.С. и др. Управление качеством. – М.: ЮНИТИ, 2000. – 199 с.
83. Ильенкова С.Д., Ильенкова Д.Н., Мхитарян В.С. и др. Управление качеством. – М.:ЮНИТИ-ДАНА, 2004. – 344 с.
84. Инструкция по оценке качества строительно-монтажных работ. – М.: Стройиздат, 1977. – 7 с.
85. Иовлев А.А. Разработка методов анализа организационно-технологических показателей производства строительно-монтажных работ мобильными специализированными бригадами. – 2003. – 144 с.
86. Исикава К. Японские методы управления качеством. – М.: Экономика, 1998. – 215 с.
87. Исса Абдул Хаким. Интеллектуальная система организации и управления качеством продукции в промышленности строительных материалов: автореферат дис. ... кандидата технических наук. – Баку, 2000. – 26 с
88. Исследования по общей теории систем: Сборник переводов / Общ. ред. и вст. ст. В. Н. Садовского и Э. Г. Юдина. – М.: Прогресс, 1969. – С. 23–82.
89. Истомина А.А. Управление ассортиментом и запасами в условиях неопределенности (на примере предприятий розничной торговли) : специальность 05.13.01 "Системный анализ, управление и обработка информации (по отраслям)" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. – 2018. – 161 с. – EDN NMRZHI.



90. Калинин, П.А. Организационное и инженерно-технологическое обеспечение качества строительной продукции жилых зданий.-канд.дисс.- Москва, 2002. – 214 с.
91. Киевский И.Л. Влияние организационно-технических факторов на реализацию продукции жилищного строительства. – 2003. – С. 137
92. Клир Дж. Системология. Автоматизация решения системных задач.- М.: Радио и связь, 1990. – 544 с.
93. Кожин, В.А. Аттестация качества строительных конструкций и жилых зданий / В.А. Кожин, В.Л. Заверняев. – М.: Стройиздат, 1985. – 152 с.
94. Кожухар В.М. Практикум по управлению качеством строительной продукции. – Брянск: Брянская инженерно-технологическая академия (БГИТА), 2003. – 80 с.
95. Колпаков, Д.А. Методы и формы рациональной организации ресурсного обеспечения строительного производства при реконструкции промышленных объектов. – канд.дисс. – Москва, 2006. – 169 с.
96. Котькин С.В. Методика решения обратной кинематической задачи грузоподъемного крана / С.В. Котькин, М.С. Корытов, В.С. Щербаков // Вестник Сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. – 2011. – Вып. 2(20). – С. 71–76.
97. Котькин С.В. Построение регрессионной модели определения энергетических затрат рабочего процесса грузоподъемного крана / С.В. Котькин, М.С. Корытов, В.С. Щербаков // Вестник Воронежского государственного технического университета. – 2012. – Т. 8. – № 3. – С. 92–95.
98. Кочегин А.А. Показатели качества технологических процессов и систем /Материалы XVII Международной научно-практической конференции «Современные техника и технологии». Омск, 2011. – С. 137-138
99. Красный Ю.М., Красный Д.Ю. Оценка качества выполнения строительных процессов/Строительство и образование. Сб. научных трудов.- Екатеринбург: Изд-во УГТУ-УПИ, 2002. – С. 17-19.
100. Кузнецов А.Н. Разработка методов анализа показателей технологических процессов для повышения качества продукции строительного произ-

водства. – канд.дисс. – Москва, 2005. – 165 с.

101. Кузнецов В.В. Системный анализ : учебник и практикум для вузов / В.В. Кузнецов, А.Ю. Шатраков ; под общей редакцией В. В. Кузнецова. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Издательство Юрайт, 2025. – 327 с. – (Высшее образование). – ISBN 978-5-534-20387-5.

102. Кулешов И. В. Анализ задач информационного моделирования в строительстве / Мохнаткин Р.В. // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры, Оренбург, 26–27 января 2022 года, Оренбург / М-во науки и высш. образования Рос. Федерации, Федер. гос. бюджет. образоват. учреждение высш. образования "Оренбургский гос. ун-т". - Электрон. дан. - Оренбург : ОГУ, 2022. - . - С. 2608-2613. . - 15 с.

103. Кулешов И.В., Пищухин А. М. Постановка задачи оптимизации грузоподъемных операций в строительстве./Строительная наука - XXI век: теория, образование, практика, инновации Северо-Арктическому региону: сб. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-лет. со дня рождения ученых СПбГАСУ (ЛИСИ) В. А. Лебедева, В. А., Трулля, Е. И. Светозаровой, 28-30 июня 2016 г., Архангельск / Федер. гос. авт. образоват. учреждение высш. образования "Северный (Арктический) Федер. ун-т" [и др.]; под ред. Б. В. Лабудина. - Архангельск: Агентство рекламы РАД. - 2016. - С. 232-237

104. Кулешов И.В., Пищухин А.М. Постановка задачи оптимизации грузоподъемных операций в строительстве (статья) Строительная наука – XXI век: теория, образование, практика, инновации Северо-Арктическому региону: сб. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-лет. со дня рождения ученых СПбГАСУ (ЛИСИ) В. А. Лебедева, В. А., Трулля, Е. И. Светозаровой, Архангельск: Агентство рекламы РАД. – 2016. – С. 232-237

105. Кулешов, И. В. Оптимизация количества звеньев в строительной бригаде при панельном домостроении / Кулешов И. В., Пищухин А. М. // Фундаментальные исследования, 2017. - № 11-1. - С. 87-91.

106. Кулешов, И. В. Оптимизация количества звеньев в строительной бригаде при панельном домостроении [Электронный ресурс] / Кулешов И. В., Пищухин А. М. // Фундаментальные исследования, 2017. - № 11-1. - С. 87-91. -

5 с.

107. Кулешов, И. В. Особенности взаимодействия элементов системы "кран - крановый путь" / И. В. Кулешов, А. И. Строева // Университетский комплекс как региональный центр образования, науки и культуры : Материалы Всероссийской научно-методической конференции, Оренбург, 03–05 февраля 2016 года. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2016. – С. 597-601. – EDN VRVTMJ.

108. Кулешов, И. В. Рациональное использование наземного кранового пути. /И.В. Кулешов И. В.//Вестник Оренбургского государственного университета: материалы конференции «Дни молодёжной науки в Оренбургской области». – 2011. -№ 4. С. 211-212.

109. Кулешов, И. В. Согласование процессов по вероятностным критериям качества с проектной симметризацией [Электронный ресурс] / И. В. Кулешов, Г. Ф. Ахмедьянова, А. М. Пищухин // Моделирование, оптимизация и информационные технологии, 2024. - Т. 12, № 1 (44). - С. 33. . - 10 с.

110. Кулешов, И.В. Информационно-алгоритмическое обеспечение многопроцессной системы / Кулешов И. В., Трохов А.А., Пищухин А. М. // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2024. №10 2024г. – С. 58-61. - 4 с.

111. Кулешов, И.В. Повышение эффективности и надёжности наземных крановых путей оптимизацией их геометрических параметров./И.В. Кулешов, С.В. Миронов//Вестник Оренбургского государственного университета. -2011. -№4. С. 173-178.

112. Кулешов, И.В. Проектирование многопроцессных систем / Кулешов И. В., Пищухин А. М. // Научно-технический вестник Поволжья. – Казань: ООО «Рашин Сайнс», 2024. №9 2024г. – С. 44-47. - 4 с.

113. Лapidус А.А. Внедрение цифровых технологий в строительную отрасль // А.А. Лapidус, И.Л. Абрамов, А.А. Мартьянова / В сборнике: Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы – 2019. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 326-330.

114. Лapidус А.А. Исследование комплексного показателя качества выполнения работ при возведении строительного объекта // А.А. Лapidус, Я.В. Шестерикова //Современная наука и инновации. – 2017. – № 3 (19). – С. 128-132.

115. Лapidус А.А. Перспективы развития bim технологий на территории российской федерации // А.А. Лapidус, Р.Т. Аветисян, А.Т. Мирзаханова, Р.Р. Казарян / В сборнике: Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы – 2019. Сборник материалов Всероссийской научно-практической конференции. – 2019. – С. 331-334.

116. Лapidус А.А. Повышение эффективности организационно-технологических решений при получении штепсельных соединений в сборно-монолитном строительстве / А.А. Лapidус, С.Д. Исаченко, А.М. Соколов, Ю.М. Минаков, С.Н. Анисимов / Вестник Поволжского государственного технологического университета. Серия: Материалы. Конструкции. Технологии. – 2021. – № 3. – С. 51-63.

117. Лapidус А.А. Разработка математической модели оценки комплексного показателя качества при возведении многоэтажных жилых зданий // Лapidус А.А., Шестерикова Я.В.//Наука и бизнес: пути развития. – 2019. – № 1 (91). – С. 44-48.

118. Лapidус А.А. Система поддержки принятия организационно-технологических решений на основе искусственной нейронной сети // А.А. Лapidус, А.Н. Макаров / В сборнике: Системотехника строительства. Киберфизические строительные системы. Сборник материалов семинара, проводимого в рамках VI Международной научной конференции. – 2018. – С. 163-167.

119. Лapidус А.А. Формирование инструмента оценки комплексного показателя качества в строительстве / А.А. Лapidус, Я.В. Шестерикова //Системы. Методы. Технологии. – 2018. – № 1 (37). – С. 90-93.

120. Ларичев А.И. Теория и методы принятия решений. М.: Логос, 2002. – 296 с.

121. Ле Чонг Хай Обоснование реконструкции территориальной массовой

жилой застройки для принятия решений по их обновлению и эксплуатации.- канд. дисс. – Воронеж, 2013. – 143 с.

122. Лебедева А.Л., Ермилов М.М. Применение теории массового обслуживания в исследовании рынка // Фундаментальные исследования кооперативного сектора экономики. – 2014. – № 4. – С. 35-39.

123. Леонтьев А.В. Управление инновационным развитием на основе научных системных интеграторов и кластерных взаимодействий : диссертация ... кандидата экономических наук : 08.00.05 / Леонтьев Алексей Владимирович; – Москва, 2009. – 163 с.

124. Лептюхова О.Ю. Комплексная оценка потребительского качества пешеходных коммуникаций. – канд. дисс. – М, 2014. – 191с.

125. Летов А.М. Аналитическое конструирование регуляторов I-IV // Автоматика и телемеханика. 1960., №4, С. 436-441; №5, С. 561-568; №6, С. 661-665; 1961, №4 С. 425-435.

126. Лобань, У.О. Диаграмма Ганта / У.О. Лобань, Н.А. Негериш, К.В. Соловьева // Сборник научных трудов кафедры высшей математики СПбГЭУ : Сборник статей. – Санкт-Петербург : Санкт-Петербургский государственный экономический университет, 2024. – С. 64.

127. Логанина В.И. Обеспечение качества и повышение конкурентоспособности строительной продукции: моногр. / В.И. Логанина, Л.В. Макарова, Р.В. Тарасов. – Пенза: ПГУАС, 2014. – 176 с. ISBN 978-5-9282-1084-7

128. Лотов А.В., Поспелова И.И. Многокритериальные задачи принятия решений: Учебное пособие. – М.: МАКС Пресс, 2008. – 197 с.

129. Лукманова И.Г. Менеджмент качества в строительстве. – М.: Изд-во МГСУ, 2001. – 263 с.

130. Лыков И.А., Быстрой Г.П. Расширенный многофакторный мультифрактальный метод социально-экономического прогнозирования // Вестник кибернетики. – 2015. – № 2(18). – С. 72-89. – EDN: UDKIDZ

131. Лысенко, С.С. Разработка организационно-технологических решений обустройства строительных площадок с учетом региональной специфики. – 2004. – 144 с.

132. Маилян, Александр Леонович Модели организационно-технологического проектирования при выборе вариантов производства строительно-монтажных работ. – канд. дисс. – Воронеж, 2010. – 165 с.

133. Матренинский С.И., Мищенко В.Я., Чертов В.А., Ле Тронг Хай Методологический подход к последовательности принятия технических и технологических решений по переустройству и модернизации территории массовой жилой застройки. //Промышленное и гражданское строительство, 2012. – №12. – С. 66-67.

134. Месарович М., Мако Д., Такахара И. Теория иерархических многоуровневых систем. – М.: Мир, 1973. – 344 с.

135. Мещанинов И.Ю. Динамическая оптимизация долговременных потоков в организации строительства и реконструкции комплекса объектов. – канд. дисс. – Санкт-Петербург, 2011. – 170 с.

136. Милованова, А.Л. Функционирование предприятия как многопроцессной системы / А.Л. Милованова // Научные достижения современности, Уфа, 03 сентября 2015 года. – Уфа: Общество с ограниченной ответственностью "ОМЕГА САЙНС", 2015. – С. 51-52.

137. Миронов, С. В. Метасистемный подход в управлении / С. В. Миронов, А. М. Пищухин. – Оренбург : Оренбургский государственный университет, 2004. – 338 с. – ISBN 5-7410-0136-X. – EDN ESGFAB.

138. Миронов, С. В. Оптимизация планово-высотных характеристик наземных крановых путей / С. В. Миронов, И. В. Кулешов // Наука и образование: фундаментальные основы, технологии, инновации : Сборник материалов международной научной конференции, Оренбург, 14–15 октября 2010 года. Том Часть 7. – Оренбург: Оренбургский государственный университет, 2010. – С. 152-155. – EDN BGNUKI.

139. Миронов, С. В. Повышение эффективности и надежности наземных крановых путей оптимизацией их геометрических параметров / С. В. Миронов, И. В. Кулешов // Вестник Оренбургского государственного университета. – 2011. – № 4(123). – С. 173-178. – EDN NTQYUR.

140. Миронов, С.В. Метасистемный подход в управлении: монография. /С.В. Миронов, А.М. Пищухин. – 2005. – 336 с.
141. Миронов, С.В. Стойкость промышленно опасных объектов / С.В. Миронов, А.М. Пищухин// Успехи современного естествознания. – 2004. – № 8. – С. 123.
142. Митрофанов С.П. Групповая технология машиностроительного производства : В 2-х т. / С.П. Митрофанов. – 3-е изд., перераб. и доп. – Л. : Ленингр. отд-ние, 1983. – 21 см. Т. 1. Организация группового производства. - Ленинград : Машиностроение : Ленингр. отд-ние, 1983. – 407 с. : ил.; ISBN
143. Митрофанов, С.П. Научная организация производства / С. П. Митрофанов, д-р техн. наук, проф. – 2-е изд., доп. и перераб. – Ленинград : Машиностроение. Ленингр. отд-ние, 1976. – 711 с. : ил.; 26 см.
144. Михальченко, О.Ю. Организационная надежность планирования строительства объектов. – канд. дисс. – Новосибирск, 2012. – 150 с.
145. Мишин В.М. Управление качеством.-М.: Изд-во ЮНИТИ-ДАНА, 2002. – 303 с.
146. Моисеев В. И. Философия биологии и медицины : учебное пособие для студентов и аспирантов медицинских вузов / В. И. Моисеев. — Москва : Принтберри, 2007. – 171, [2] с. : 21 см — (Высшее профессиональное образование).; ISBN 978-5-91451-002-9.
147. Моисеева Ю.В. Система менеджмента качества: процессный подход.//Менеджмент сегодня, 2006. – №3. – С. 144-153
148. Момот А.И. Менеджмент качества.- Донецк: ДонГТУ, 2000. – 120 с.
149. Мухаметзянов, З.Р. Разработка методики построения адаптивной структуры управления строительным предприятием. – канд. дисс. – Уфа, 2002. – 171 с.
150. Нехай, Р.Г. Модели и алгоритмы повышения организационно-технологической надежности при планировании и организации строительного производства : специальность 05.23.08 "Технология и организация строительства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Нехай Рустам Григорьевич, 2016. – 122 с.

151. Николаев С.В. Возрождение крупнопанельного домостроения в России. // Жилищное строительство, 2012. – №4. – С.2-8.
152. Олейник П.П. Основные требования к составу и содержанию проекта производства работ // Олейник П.П., Бродский В.И. /Технология и организация строительного производства. – 2013. – № 3. – С. 35-38.
153. Организация производства и управление предприятием : учебник / под ред. О. Г. Туровца. – 3-е изд. – Москва : ИНФРА-М, 2024. – 506 с. – (Среднее профессиональное образование). – ISBN 978-5-16-015612-5.
154. Основы организации контроля и учета в строительстве : крат. справ. мастера строит.-монт. работ / сост. Н. И. Фомин, К. В. Бернгардт ; науч. ред. Г. С. Пекарь. – Екатеринбург: Издательство УМЦ УПИ, 2015. – 266 с. [https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/36191/1/978-5-8295-0395-6\\_2015.pdf](https://elar.urfu.ru/bitstream/10995/36191/1/978-5-8295-0395-6_2015.pdf)
155. Оценка и выбор критериев оптимальности системы резания по энергопотребляющим показателям технологического оборудования/Ж.А. Мрочек, Д.В. Адаменко, В.М. Адаменко//Вестник БНТУ, 2010 г. – №5. – С. 11-14.
156. Оценка качества технологической системы/ Электронный ресурс. Режим доступа: <https://lektsii.com/3-37547.html> Дата обращения 22.12.2018.
157. Панова, М. В. Оптимизация деятельности промышленного предприятия с помощью диаграммы Ганта / М. В. Панова, И. А. Жиделев // Вектор экономики. – 2024. – № 4(94).
158. Певнева А.Г., Калинкина М.Е., Методы оптимизации – СПб: Университет ИТМО, 2020. – 64 с.
159. Пищухин А.М. Автоматизация на основе мультиструктурных систем/Научное издание / Оренбург, 2001. – 258 с.
160. Пищухин, А. М. Постановка задачи оптимизации грузоподъемных операций в строительстве / Пищухин А. М., Кулешов И. В. // Строительная наука - XXI век: теория, образование, практика, инновации Северо-Арктическому региону : сб. тр. VII Междунар. науч.-техн. конф., посвящ. 100-лет. со дня рождения ученых СПбГАСУ (ЛИСИ) В. А. Лебедева, В. А., Трулля, Е. И. Светозаровой, 28-30 июня 2016 г., Архангельск / Федер. гос. авт. образоват. учреждение высш. образования "Северный (Арктический) Федер. ун-



т" [и др.]; под ред. Б. В. Лабудина. - Архангельск: Агентство рекламы РАД, 2016. - . - С. 232-237. - 6 с.

161. Пищухин, А.М. Вероятностная модель согласования производственного процесса с региональным рынком / А.М. Пищухин // Вестник Самарского государственного технического университета. Серия: Технические науки. – 2019. – № 1(61). – С. 20-33. – EDN QEGQTM.

162. Разработка методов распределения ресурсов на сетевых графиках в многомерном случае / Ж.С. Исмагулова, А.Н. Нургулжанова, Г.Ж. Тажибаева, А.Д. Кожамкулова // Вестник Казахской академии транспорта и коммуникаций им. М. Тынышпаева. – 2014. – № 2(87). – С. 163-167.

163. Расчет производительности кранов, передовые методы работы. Режим доступа <http://stroy-technics.ru/article/raschet-proizvoditelnosti-kranov-peredovye-metody-raboty> (Дата обращения 14.04.2021).

164. Рожнов, А.В. Обоснование задач системной интеграции и информационноаналитическое моделирование проблемно-ориентированных систем управления на предпроектном этапе жизненного цикла / А.В. Рожнов, И.А. Лобанов, Е.В. Бимаков // XII всероссийское совещание по проблемам управления ВСПУ-2014, Москва, 16-19 июля 2014 года / Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН. – Москва: Институт проблем управления им. В.А. Трапезникова РАН, 2014. – С. 7474-7479. – EDN QVWVVO.

165. Русаков, М. Н. Методы и средства повышения качества строительно-монтажных работ при реконструкции промышленных сооружений. – канд. дисс. – Москва, 2006. – 146 с.

166. Рутковский В.Ю., Земляков С.Д., Суханов В.М., Глумов В.М. Некоторые новые направления развития теории и применения адаптивного координатно-параметрического управления // Проблемы управления. 2003. – №2. URL: <https://cyberleninka.ru/article/n/nekotorye-novye-napravleniya-razvitiya-teorii-i-primeneniya-adaptivnogo-koordinatno-parametriceskogo-upravleniya> (дата обращения: 22.12.2023).

167. Рыбин Е.Н. BIM-технологии // Е.Н. Рыбин, С.К. Амбарян, В.В. Аносов, Д.В. Гальцев, М.А. Фахратов / Известия вузов. Инвестиции. Строительство

во. Недвижимость. – 2019. – Т. 9. – № 1 (28). – С. 98-105.

168. Рыков А.С. Модели и методы системного анализа: принятие решений и оптимизация. – М.: МИСИС:Изд. дом «Руда и металлы», 2005. – 352 с.

169. Саар, О. В. Комплексные организационно-технологические системы инженерного обеспечения территорий. – канд. дисс. – Ростов-на-Дону, 2011. – 192 с.

170. Садовникова Н.П. Методологические основы поддержки принятия решений в задачах обеспечения экологически безопасного развития урбанизации территорий. – докт. дисс. – Волгоград, 2013. – 274 с.

171. Сащенко, Ю.К. Методика измерения уровня качества строительно-монтажных работ / Ю.К. Сащенко // Экономика строительства. – 1988. – №12. – С.75-79.

172. Свиткин М.З. Процессный подход при внедрении системы менеджмента качества в организации. //Стандарты и качество, 2002. – №3. – С. 74-77

173. Сергеев С.К., Теличенко В.И., Колчунов В.И. и др. Менеджмент систем безопасности и качества в строительстве. – М.: Изд-во АСВ, 2000. – 570 с.

174. Сергеев, Ю.Д. Обеспечение организационно-технологической надежности объектов недвижимости на всех этапах жизненного цикла : специальность 05.23.08 "Технология и организация строительства" : диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук / Сергеев Юрий Дмитриевич, 2021. – 155 с.

175. Скрипко Л.Е. Методология оценивания затрат на качество. //Методы менеджмента качества, 2001. – №1. – С.6.

176. Снетков Н.Н. Имитационное моделирование экономических процессов: Учеб.-практ. пособие. – М.: Изд. Центр ЕАОИ, 2008. – 228 с. – EDN: RBAETN

177. Соколов Г., Волобуева Е. Марковская модель оптимизации процесса поставки товаров с одношаговой потребительской ценностью // Логистика. – 2012. – № 11. – С. 46-49. – EDN: PJGOJV

178. СП 246.1325800.2023 «Положение об авторском надзоре при строительстве, реконструкции и капитальном ремонте объектов капитального

<https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/5fc/owr8jswlt1gfqfowsl5cz2fit910ox6f/SP-246.pdf> (Дата обращения 24.04.2025)

179. СП 48.13330.2011 Организация строительства. Актуализированная редакция СНиП 12-01-2004 / УТВЕРЖДЕН приказом Министерства регионального развития Российской Федерации (Минрегион России) от 27 декабря 2010 г. N 781 и введен в действие с 20 мая 2011 г. Режим доступа: <https://www.minstroyrf.gov.ru/upload/iblock/1ae/SP-48.pdf> (Дата обращения 24.04.2025)

180. Стерлигова, А. Н. Анализ значения термина "интеграция" в контексте управления организацией / А. Н. Стерлигова // Логистика и управление цепями поставок. – 2005. – № 6(11). – С. 70-79. – EDN TAXVRJ.

181. Судаков В.В. Контроль качества и надежность железобетонных конструкций. – Ленинград: Стройиздат, 1980. –168 с.

182. Суховерхов, Ю.Н. Разработка рациональных организационно-информационных структур и технологий строительного переустройства. – 2005. – 153 с.

183. Теличенко В.И. Научно-методологические основы проектирования гибких строительных технологий. – Автореферат докт. Диссерт. – М.: МГСУ. – 34 с.

184. Теличенко В.И., Слесарев М.Ю., Свиридов В.М. и др. Безопасность и качество в строительстве. – М.: Изд-во АСВ, 2002. – 336 с.

185. Теличенко В.И., Терентьев О.М., Лагидус А.А. Технология возведения зданий, сооружений. – М.: МГСУ, 1999. – 198 с.

186. Теория автоматического управления /А.А. Воронов, Д.П. Ким, В.М. Лохин и др./ Ч.П.-М.:Высш. шк., 1986. – 504 с.

187. Теория автоматического управления : учебник для студентов вузов, обучающихся по специальности "Автоматика и телемеханика" / [Н.А. Бабаков, А.А. Воронов, А.А. Воронова и др. ; под ред. акад. А.А. Воронова]. – 2-е изд., перераб. и доп. – Москва : Высшая школа, 1986. Ч. 2: Теория нелинейных и специальных систем автоматического управления. Ч. 2 / [А.А. Воронов, Д.П.

Ким, В.М. Лохин и др.]. – 1986. – 504 с.

188. Терелянский, П.В. Системы поддержки принятия решений. Опыт проектирования : монография / П.В. Терелянский ; ВолгГТУ. – Волгоград, 2009. – 127 с.

189. Титаренко Б.П. Параметры рисков в инвестиционно-строительных проектах / Титаренко Б.П., Любкин С.М., Ерошкин С.Ю. // В книге: Управление развитием крупномасштабных систем MLSD'2017. Материалы Десятой международной конференции: в 2-х томах. Институт проблем управления им. В.А.Трапезникова; Российская академия наук; Под общей редакцией С.Н. Васильева, А.Д. Цвиркуна. 2017. – С. 209-211.

190. Тихоненко А. А. Моделирование планов производства строительно-монтажных работ на основе обобщенных матрично-сетевых моделей с использованием генетических алгоритмов оптимизации.-канд. дисс. – Воронеж, 2013. – 140 с.

191. Тихонов А.Н., Самарский А.А. Уравнения математической физики, 1977. – М.: Наука. – 736 с.

192. Топчий Д.В. Разработка организационно-технологической модели осуществления строительного контроля при возведении многоэтажных жилых зданий // Топчий Д.В., Скакалов В.А. / Научное обозрение. – 2017. – № 11. – С. 97-100.

193. Тростянский П.В. Метод оценки качества несущих узлов панельных зданий с учетом технологических факторов в процессе монтажа. – канд. дисс. – М., 1984.-238 с.

194. Управление качеством в строительной отрасли / кол. авт. под общей ред. И.Г. Лукмановой. – М.: ЗАО «Издательский дом «Логос-Развитие», 2002. –184 с.

195. Управление качеством строительной продукции. Техническое регулирование безопасности и качества в строительстве: Уч. пособие. /С.К. Сергеев, В.И. Теличенко, В.И. Колчунов и др.-М.: Изд-во АСВ, 2003. –512 с.

196. Фахратов М.А. Влияние автоматизированных систем управления грузоподъемных механизмов на производительность строительно-монтажных

работ // М.А. Фахратов, М.Ф. Кужин, Р.И. Ибрагимов / Перспективы науки. – 2020. – № 1 (124). – С. 62-65.

197. Фомин, С. Я. Оптимизация складирования материалов на предприятии / С. Я. Фомин // Известия высших учебных заведений. Черная металлургия. – 2010. – № 3. – С. 62-64. – EDN QCFVVPF.

198. Хань Вэньгэн Методы и модели обоснования качества АСУ организаций строительного комплекса города : автореферат дис. ... кандидата технических наук : 05.13.18 / Санкт-Петербург. гос. архитектурно-строительный ун-т. – Санкт-Петербург, 2000. – 17 с.

199. Черняк В.З. Экономика строительства и коммунального хозяйства. – М.: Изд-во ЮНИОН-ДАНА, 2003. – 623 с.

200. Черток А.В. Моделирование потоков заявок на финансовых рынках с помощью обобщенных процессов риска: Дис. ... канд. ф-м. наук. – М., 2015. – 113 с. – EDN: ZPVVRF

201. Швайдар В.А., Панов В.П., Куприянов В.М. и др. – Стандартизация и управление качеством продукции. – М.: Изд-во ЮНИОН-ДАНА, 2001. – 487 с.

202. Швец, В.Е. Измерение процессов в современной системе менеджмента качества / В.Е. Швец // Методы менеджмента качества. – 2001. – №1. – С. 11-13.

203. Шепелова, Н.С. Диаграмма Ганта как инструмент управления проектами / Н.С. Шепелова, С.А. Барило, А.О. Христенко // Актуальные аспекты научных исследований: Сборник статей II Международной научно-практической конференции, Саратов, 19 марта 2024 года. – Саратов: Общество с ограниченной ответственностью Издательство «КУБиК», 2024. – С. 294-298.

204. Ширшиков Б.Ф. Организационно-технологические решения по безопасности труда в проектах производства работ / Б.Ф. Ширшиков, С.А. Синенко, А.М. Славин, Б.В. Жадановский, М.Ф. Кужин, В.И. Бродский /Москва, 2015. – 100 с.

205. Шрейбер А.К. Подходы к оценке эффективности внедрения технологий информационного моделирования в инвестиционно-строительные проекты / А.К. Шрейбер, Л.А. Опарина, И.С. Карасев/ В сборнике: "Современные

инженерные проблемы ключевых отраслей промышленности". "Современные задачи инженерных наук". Сборник научных трудов Международного научно-технического симпозиума и III Международного Косыгинского Форума. Москва, 2021. – С. 85-88.

206. Щербаков В. С. и др. Система автоматизации моделирования стреловых грузоподъемных кранов: монография / В.С. Щербаков, М.С. Кoryтов, С.В. Коткин. – Омск: СибАДИ, 2012. – 143 с.

207. Эльсгольц Л.Э. Дифференциальные уравнения и вариационное исчисление. М.: Наука, 1969. 426 с.

## Приложение А

### Листинг программы СППР

```
unit Unit1;

interface

uses
  Windows, Messages, SysUtils, Variants, Classes, Graphics, Controls, Forms,
  Dialogs, Menus, StdCtrls, Unit2, ExtCtrls;

const
  word_max=40;
  line_max=80;
  colon=': ';
  period='.';
  comma=',';
  space=' ';
  equals='=';
  definite=50;

type
  word_string=string[word_max];
  line_string=string[line_max];
  value_ptr=^value;
  legal_ptr=^legal_value;
  object_ptr=^object1;

  value=record
    name:word_string;
    cert:integer;
    setby:word_string;
    next:value_ptr;
  end;

  legal_value=record
    name:word_string;
    next:legal_ptr;
  end;

  object1=RECORD
    name:word_string;
    question:line_string;
    multivald:boolean;
    legal_list:legal_ptr;
    sought:boolean;
    value_list:value_ptr;
    next:object_ptr
  END;

  prem_ptr=^prem;
  con_ptr=^con;
  rule_ptr=^rule;

  prem=RECORD
    object1:word_string;
    value:word_string;
    next:prem_ptr
  END;

  CON=RECORD
    object1:word_string;
    value:word_string;
    cert:integer;
    next:con_ptr
  END;

  rule=RECORD
    name:word_string;
    prem:prem_ptr;
    con:con_ptr;
    next:rule_ptr
  END;

 TForm1 = class(TForm)
   MainMenu1: TMainMenu;
   N1: TMenuItem;
```

```

N2: TMenuItem;
N3: TMenuItem;
N4: TMenuItem;
N5: TMenuItem;
N6: TMenuItem;
N7: TMenuItem;
Label1: TLabel;
Edit1: TEdit;
Label2: TLabel;
Label3: TLabel;
Label4: TLabel;
OpenDialog1: TOpenDialog;
Label5: TLabel;
Edit2: TEdit;
Memo1: TMemo;
Label6: TLabel;
Edit3: TEdit;
Button1: TButton;
Button2: TButton;
Edit4: TEdit;
Label7: TLabel;
Button3: TButton;
Button4: TButton;
N11: TMenuItem;
N12: TMenuItem;
Image1: TImage;
procedure N8Click(Sender: TObject);
procedure N5Click(Sender: TObject);
procedure N9Click(Sender: TObject);
procedure N3Click(Sender: TObject);
procedure N2Click(Sender: TObject);
procedure Button1Click(Sender: TObject);
procedure N10Click(Sender: TObject);
procedure Button2Click(Sender: TObject);
procedure N1Click(Sender: TObject);
procedure Button3Click(Sender: TObject);
procedure N4Click(Sender: TObject);
procedure Button4Click(Sender: TObject);

end;

// procedure vvod;
VAR
choice,
max_choice,
choice_lim,i,i1,i2,i3:integer;
last_try,
top_fact:object_ptr;
s_word,
s_object,s_object2,
select:word_string;
s_value:word_string;
s_line:line_string;
s_cf:integer;
top_rule:rule_ptr;
rules:Text;
explain,flag,flag1:boolean;
find_legal1, mv:boolean;
Form1: TForm1;

// private
{ Private declarations }
// public
{ Public declarations }
// end;

implementation

{$R *.dfm}

FUNCTION find_word(f_line:line_string;n:integer;VAR word:word_string):boolean;
VAR
x,
com_place:integer;
BEGIN
find_word:=FALSE;
word:="";
for x:=1 to n do
begin
com_place:=pos(comma,f_line);
IF (com_place=0) THEN

```



```

begin
  com_place:=length(f_line)+1;
  find_word:=TRUE
end;
word:=copy(f_line,1,com_place-1);
f_line:=copy(f_line,com_place+1,length(f_line)-com_place)
end
end;

function find_object(f_object:word_string):object_ptr;
var
  curr_object:object_ptr;
begin
  if (last_try<>Nil) and (last_try^.name=f_object)
  then find_object:=last_try else
  begin
    curr_object:=top_fact;
    last_try:=NIL;
    find_object:=nil;
    while ((curr_object<>nil) and (last_try=nil)) do
    begin
      if (curr_object^.name=f_object) then
      begin
        find_object:=curr_object;
        last_try:=curr_object
      end;
      curr_object:=curr_object^.next
    end
    end
  end;
end;

procedure make_node(var curr_object:object_ptr);
var
  head:object_ptr;
begin
  new(curr_object);
  head:=top_fact;
  top_fact:=curr_object;
  with curr_object^ do
  begin
    next:=head;
    value_list:=nil;
    question:="";
    legal_list:=nil;
    multivald:=false;
    sought:=false;
  end
end;

function test(f_object,f_value:word_string):value_ptr;
var
  curr_object:object_ptr;
  curr_value:value_ptr;
begin
  curr_object:=find_object(f_object);
  test:=NIL;
  IF (curr_object<>NIL) Then
  begin
    curr_value:=curr_object^.value_list;
    while (curr_value<>NIL) DO
    begin
      if (curr_value^.name=f_value) THEN
        test:=curr_value;
        curr_value:=curr_value^.next
      end
    end
  end
end;

procedure add_object(f_object,f_value:word_string);
var
  curr_object:object_ptr;
  value_list,
  head:value_ptr;
begin
  curr_object:=find_object(f_object);
  if (curr_object=NIL) then
    make_node(curr_object);
  curr_object^.name:=f_object;
  curr_object^.sought:=true;
  value_list:=test(f_object,f_value);
  if (value_list=NIL) then
  begin

```

```

head:=curr_object^.value_list;
new(value_list);
with value_list^ do
begin
next:=head;
cert:=50;
setby:="";
name:=f_value
end;
curr_object^.value_list:=value_list
end
end;

FUNCTION blend(cf1,cf2:integer):integer;
begin
blend:=((100*cf1)+(100*cf2)-(cf1*cf2)) DIV 100;

end;

PROCEDURE add_cf(f_object,f_value:word_string;cf2:integer);
var
cf1:integer;
curr_value:value_ptr;
begin
curr_value:=test(f_object,f_value);
cf1:=curr_value^.cert;
//i1:=cf1;
//i2:=cf2;
curr_value^.cert:=blend(cf1,cf2);
//i3:=curr_value^.cert;
end;

procedure split(f_line:line_string;
var f_object,f_value:word_string);
var
st_left,
st_right:integer;
begin
st_right:=pos(period,f_line);
if (st_right=length(f_line)) then f_line:=copy(f_line,1,st_right-1);
st_left:=pos(equals,f_line);
st_right:=pos(comma,f_line);
if ((st_left=0) and (st_right=0)) then f_object:=f_line;
if (st_right=0) then st_right:=length(f_line)+1;
if (st_left>0) then
begin
f_object:=copy(f_line,1,st_left-1);
if (pos(')',f_object)=0) then f_value:=copy(f_line,st_left+1,st_right-st_left-1)
end;
st_right:=pos(')',f_object);
if (st_right>0) then f_object:=copy(f_line,1,st_right-1)
end;

procedure make_multi(f_line:line_string);
var
curr_object:object_ptr;
dummy,
f_object:word_string;
begin
split(f_line,f_object,dummy);
curr_object:=find_object(f_object);
//curr_object^.name:=f_object;
//curr_object^.multivald:=true;
//mv:=curr_object^.multivald;
end;

procedure add_question(f_line:line_string);
var
new_line:line_string;
curr_object:object_ptr;
f_object,
dummy:word_string;
st_place:integer;
begin
split(f_line,f_object,dummy);
curr_object:=find_object(f_object);
if (curr_object=NIL) then make_node(curr_object);
curr_object^.name:=f_object;
st_place:=pos(EQUALS,f_line);
new_line:=copy(f_line,st_place+1,length(f_line)-st_place);
curr_object^.question:=new_line

```

```

end;

procedure add_legal(f_object1:word_string;curr_object:object_ptr);
var
  curr_value,
  head:legal_ptr;
begin
  new(curr_value);
  curr_value^.next:=nil;
  curr_value^.name:=f_object1;
  head:=curr_object^.legal_list;
  if (head<>nil) then
    begin
      while (head^.next<>nil) do
        head:=head^.next;
      head^.next:=curr_value
    end
  else
    curr_object^.legal_list:=curr_value
  end;
end;

PROCEDURE make_legals(f_line:line_string);
VAR
  curr_object:object_ptr;
  counter,
  st_place:integer;
  new_line:line_string;
  word:word_string;
  done:boolean;
  f_object,
  dummy:word_string;

BEGIN
  split(f_line,f_object,dummy);
  curr_object:=find_object(f_object);
  IF (curr_object=NIL) THEN make_node(curr_object);
  curr_object^.name:=f_object;
  st_place:=pos(equals,f_line);
  new_line:=copy(f_line,st_place+1,length(f_line)-st_place);
  counter:=1;
  done:=FALSE;
  WHILE (done=FALSE) DO
    BEGIN
      done:=find_word(new_line,counter,word);
      add_legal(word,curr_object);
      counter:=counter+1;
    END
  END;
END;

function
add_prem(curr_prem:prem_ptr;f_line:line_string):prem_ptr;
var
  temp,
  new_prem:prem_ptr;
  f_object,
  f_value:word_string;
begin
  split(f_line,f_object,f_value);
  add_prem:=curr_prem;
  new(new_prem);
  with new_prem^ do
    begin
      object1:=f_object;
      value:=f_value;
      next:=nil;
    end;
  if (curr_prem=nil) then add_prem:=new_prem
  else
    begin
      while (curr_prem^.next<>nil) do
        CURR_PREM:=CURR_PREM^.NEXT;
      curr_prem^.next:=new_prem
    end
  end;
end;

procedure p_read(var oline:line_string);
var
  c:char;
  cs:string[1];
  len,
  counter,
  st_place:integer;

```

```

supress:boolean;
in_line:line_string;
begin
readln(rules,in_line);
oline:="";
len:=length(in_line);
st_place:=pos('н',in_line);
if(st_place>0)then len:=st_place;
supress:=false;
for counter:=1 to len do
begin
c:=in_line[counter];
if ((c=EQUALS)and (pos('вопс',oline)>0))then
supress:=true;
if(ord(c)=9)then c:=' ';
if ((c in ['A'..'T']) and (supress=false)) then
c:=chr(ord(c)+32);
if ((c in ['P'..'Я']) and (supress=false)) then
c:=chr(ord(c)+80);
cs:=' ';
cs[1]:=c;
if((c<>' ')or (supress=true))then oline:=concat(oline,cs)
end
end;

function get_cf(f_line:line_string):integer;
var
result,
st_right,
cf:integer;
trim:line_string;
begin
cf:=definite;
st_right:=pos(period,f_line);
if st_right=length(f_line) then f_line:=copy(f_line,1,st_right-1);
st_right:=pos('кд',f_line);
if(st_right>0)and(st_right+3<line_max)then
begin
trim:=copy(f_line,st_right+3, length(f_line)-st_right-2);
val(trim,cf,result);
if(result>0)then cf:=definite;
if pos('плохой',trim)>0 then cf:=25;
if pos('средний',trim)>0 then cf:=50;
if pos('хороший',trim)>0 then cf:=75;
if pos('абсолютный',trim)>0 then cf:=definite
end;
get_cf:=cf
end;

function add_con(curr_con:con_ptr;f_line:line_string):con_ptr;
var
temp,
new_con:con_ptr;
f_object,
f_value:word_string;
begin
split(f_line,f_object,f_value);
add_con:=curr_con;
new(new_con);
with new_con^do
begin
object1:=f_object;
value:=f_value;
cert:=get_cf(f_line);
next:=nil
end;
if (curr_con=nil)then add_con:=new_con
else
begin
while(curr_con^.next<>nil)do
curr_con:=curr_con^.next;
curr_con^.next:=new_con
end
end;

procedure p_rule(curr_rule:rule_ptr);
var
curr_prem:prem_ptr;
curr_con:con_ptr;
begin
//Form1.Show;
//Form1.Label3.Caption := curr_rule^.name+'если';

```

```

curr_prem:=curr_rule^.prem;
while (curr_prem<> nil) do
begin
// Form1.Label4.Caption := curr_prem^.object1+'='+curr_prem^.value;
curr_prem:=curr_prem^.next;
if (curr_prem<> nil) then
// Form1.Label5.Caption := 'H';
//else //writeln
end;
//writeln('to');
curr_con:=curr_rule^.con;
while (curr_con<>nil) do
begin
// write(curr_con^.object1,'=');
// write(curr_con^.value,'кд=',curr_con^.cert);
curr_con:=curr_con^.next;
if (curr_con<> nil) then
// writeln ('H')
else //writeln
end
end;

procedure enter_rule(rule_name:word_string);
var
new_rule,
curr_rule:rule_ptr;
line:line_string;
done:boolean;
begin
new(new_rule);
if (top_rule<>nil) then
begin
curr_rule:=top_rule;
while (curr_rule^.next<>nil) do
curr_rule:=curr_rule^.next;
curr_rule^.next:=new_rule
end
else top_rule:=new_rule;
with new_rule^ do
begin
name:=rule_name;
next:=nil;
prem:=nil;
con:=nil
end;
p_read(line);
done:=false;
while ((not done) and (not eof(rules))) do
begin
new_rule^.prem:=add_prem(new_rule^.prem,line);
p_read(line);
if (pos('to',line)>0) and (length(line)=2) then
done:=true
end;
p_read(line);
done:=false;
repeat
new_rule^.con:=add_con(new_rule^.con,line);
if (eof(rules)) then done:=true;
if line[length(line)]='.' then done:=true
else p_read(line)
until(done);
//writeln;
p_rule(new_rule);
end;

PROCEDURE read_file;
var
command:word_string;
m_line,
f_line:line_string;
st_place:integer;
s:String;
begin
//Form1.Label4.Visible := True;
//Form1.Label3.Caption := 'Чтение файла, содержащего правила';

//assignfile(rules,'D:\'+"...К'\030427~1\"'...;HhH, H\BPEXPE~1\rules.txt');
s:='C:\RULES.TXT';
assignfile(rules, s);
reset(rules);

```

```

top_rule:=NIL;
command:="";
while (not Eof(rules)) DO
  begin
    p_read(f_line);
    st_place:=pos('(',f_line);
    IF (st_place=0) then st_place:=pos(':',f_line);
    if (st_place>1) then
      begin
        command:=copy(f_line,1,st_place-1);
        m_line:=copy(f_line,st_place+1,length(f_line)-st_place);
        if (command='многозначный') THEN make_multi(m_line);
        if (command='вопрос') then add_question(m_line);
        if (command='разрешн') THEN make_legals(m_line);
        if (pos('правило',command)>0) THEN enter_rule(command)
      end
    end
  end;
end;

```

```

procedure import;
var
  dbase:text;
  d_field,
  name,
  word:word_string;
  line:line_string;
  done:boolean;
  counter:integer;
begin
  //writeln;
  name := Form1.Edit2.Text;
  assignfile(dbase,'C:\subjects.txt');
  reset(dbase);
  word:="";
  //writeln;
  while ((not eof (dbase)) and (word<>name)) do
    begin
      readln(dbase,line);
      done:=find_word(line,1,word);
      word:=(copy(word,2,length(word)-2))
    end;
  end;

```

```

if (word=name) then
  Begin
    done:=FALSE;
    counter:=1;
    while (done=false) do
      BEGIN
        done:=find_word(line,counter,word);
        word:=copy(word,2,length(word)-2);

```

CASE counter OF

```

2:
begin
  d_field:='возраст';
  add_object(d_field,word);
  add_cf(d_field,word,DEFINITE)
end;

```

```

3:
begin
  d_field:='пол';
  add_object(d_field,word);
  add_cf(d_field,word,DEFINITE);
end;

```

```

4:
begin
  d_field:='век';
  add_object(d_field,word);
  add_cf(d_field,word,DEFINITE);
end;

```

```

5:
begin
  d_field:='происхождение';
  add_object(d_field,word);
  add_cf(d_field,word,DEFINITE);
end;

```

```

6:

```

```

begin
  d_field:='paca';
  add_object(d_field,word);
  add_cf(d_field,word,DEFINITE);
end
end;
counter:=counter+1
end
end
Else
form1.Label2.Caption:='фамилия не найдена';
//writeln('фамилия не найдена')
end;

function ok_add(f_object:word_string;cf:integer):boolean;
var
  curr_object:object_ptr;
  curr_value:value_ptr;
  is_100:boolean;
begin
  ok_add:=true;
  is_100:=false;
  curr_object:=find_object(f_object);
  if(curr_object<>nil)then
  begin
    curr_value:=curr_object^.value_list;
    while(curr_value<>nil)do
    begin
      if(curr_value^.cert=DEFINITE)then
        is_100:=true;
        curr_value:=curr_value^.next
      end
    end;
    if((cf=DEFINITE)and (is_100=true)
      and(curr_object^.multivald=false))
    then ok_add:=false
    end;
  end;

function find_rule(obj:word_string;curr_rule:rule_ptr):rule_ptr;
var
  found:boolean;
  curr_con:con_ptr;
begin
  found:=false;
  find_rule:=NIL;
  while((curr_rule<>nil)and(found=false))do
  begin
    curr_con:=curr_rule^.con;
    while(curr_con<>nil)do
    begin
      if(curr_con^.object1=obj) then
      begin
        found:=true;
        find_rule:=curr_rule
      end;
      curr_con:=curr_con^.next
    end;
    curr_rule:=curr_rule^.next
  end
end;

procedure conclude(curr_rule:rule_ptr;prem_cert:integer);
var
  curr_con:con_ptr;
  cert:integer;
begin
  curr_con:=curr_rule^.con;
  while(curr_con<>nil)do
  begin
    add_object(curr_con^.object1,curr_con^.value);
    cert:=(prem_cert*curr_con^.cert)DIV 100;
    add_cf(curr_con^.object1,curr_con^.value,cert);
    curr_con:=curr_con^.next
  end
end;

procedure p_question(f_object:word_string);
var
  curr_object:object_ptr;
begin
  curr_object:=find_object(f_object);

```

```

if (curr_object<>nil)then
begin
if (curr_object^.question<>"")then
//Form1.Memo1.Lines[0] := Form1.Memo1.Lines[0]+curr_object^.question
form2.Label1.Caption:=form2.Label1.Caption+#13+#13+curr_object^.question
else //Form1.Memo1.Lines[0]:= Form1.Memo1.Lines[0] + 'Каково значение'+f_object+'?'
form2.Label1.Caption:=form2.Label1.Caption+'Каково значение'+f_object+'?'
end
else //Form1.Memo1.Lines[0] := Form1.Memo1.Lines[0]+' Каково значение'+f_object+'?'
form2.Label1.Caption:=form2.Label1.Caption+'Каково значение'+f_object+'?';

//form2.Edit1.SetFocus;
end;

function find_legal(f_object:word_string;n:integer;VAR word:word_string):boolean;
VAR
curr_object:object_ptr;
curr_value:legal_ptr;
counter:integer;
BEGIN
curr_object:=find_object(f_object);
find_legal:=TRUE;
IF(curr_object<>nil)THEN
BEGIN
curr_value:=curr_object^.legal_list;
word:=curr_value^.name;
counter:=1;
IF(curr_value=NIL)THEN find_legal:=FALSE;
WHILE((curr_value<>NIL)AND(counter<n))DO
BEGIN
curr_value:=curr_value^.next;
IF(curr_value<>NIL)THEN
BEGIN
word:=curr_value^.name;
counter:=counter+1
END
ELSE find_legal:=FALSE;
end
end
ELSE find_legal:=FALSE;
end;

procedure ask(f_object:word_string;VAR f_value:word_string);
var
pick,pick1,num_vals:integer;
okay:boolean;
word:word_string;
begin

p_question(f_object);

if(find_legal(f_object,1,word)=false)then
begin

f_value:=form2.Edit1.Text
end
else
begin
num_vals:=1;
while(find_legal(f_object,num_vals,word)<>false)do
begin
//form1.Memo1.Lines[0]:=form1.Memo1.Lines[0]+inttostr(num_vals)+'.'+word;
form2.Label1.Caption:=form2.Label1.Caption+#13+inttostr(num_vals)+'.'+word;
num_vals:=num_vals+1
end;
pick:=0;
while((pick<1)or(pick>=num_vals))do
begin
//form1.Memo1.Lines[0]:=form1.Memo1.Lines[0]+'Пожалуйста, введите номер от 1 до'+inttostr(num_vals-1);
form2.Label1.Caption:=form2.Label1.Caption+#13+'Пожалуйста введите номер от 1 до '+inttostr(num_vals-1);

form2.Showmodal;
select:=unit2.select;
//exit; readln(select);
pick:=ord(select[1])-48;
if(length(select)>1)then begin
pick1:=ord(select[2])-48;
if((pick1>=0)and(pick1<10))then
pick:=pick*10+pick1
end
end;
okay:=find_legal(f_object,pick,word);

```



```

    f_value:=word;
    //
    exit;
end
end;

PROCEDURE see_vals(curr_object:object_ptr;cf_on:boolean);
VAR
curr_value:value_ptr;
cf:integer;
begin
curr_value:=curr_object^.value_list;
Form1.Memo1.Lines[0]:=Form1.Memo1.Lines[0]+ curr_object^.name+EQUALS;
IF(curr_value=NIL) THEN Form1.Memo1.Lines[0] := Form1.Memo1.Lines[0]+'Не определено ';
while(curr_value<>nil)do
begin
i:=i+1;
Form1.Memo1.Lines[0]:= Form1.Memo1.Lines[0]+curr_value^.name;
if(cf_on=true)then
begin
cf:=curr_value^.cert;
Form1.Memo1.Lines[0]:= Form1.Memo1.Lines[0]+' , оп='+IntToStr(cf);
end;
curr_value:=curr_value^.next;
if(curr_value<>nil)then Form1.Memo1.Lines[0]:= Form1.Memo1.Lines[0]+' ';
end;
//writeln
end;

PROCEDURE p_result(f_object:word_string);
VAR
curr_object:object_ptr;
begin
//writeln;
Form1.Memo1.Lines[0]:=Form1.Memo1.Lines[0]+'РЕЗУЛЬТАТ КОНСУЛЬТАЦИИ.';
//writeln;
curr_object:=find_object(f_object);
see_vals(curr_object,TRUE);
//writeln;
Form1.Memo1.Lines[0]:=Form1.Memo1.Lines[0]+'КОНЕЦ КОНСУЛЬТАЦИИ.';
//readln;{(choice):}
// form1.Memo1.Lines[0]:= form1.Memo1.Lines[0]+s_object2;
end;

PROCEDURE explain_how(curr_rule:rule_ptr);

var
curr_prem:prem_ptr;
curr_con:con_ptr;

BEGIN
//writeln;
//Form1.Memo1.Lines := '';
Form1.Memo1.Lines[0] := 'Так как: ';
curr_prem:=curr_rule^.prem;
while (curr_prem<>NIL) DO

    BEGIN
    Form1.Memo1.Lines[1] := curr_prem^.object1 +'=';
    Form1.Memo1.Lines[2] := curr_prem^.value;
    curr_prem:=curr_prem^.next;
    IF (curr_prem<>NIL) THEN Form1.Memo1.Lines[3] := ' и '
    ELSE //writeln
    END;

    Form1.Memo1.Lines[4] := ' Можно сделать вывод, что';
    curr_con:=curr_rule^.con;

    WHILE (curr_con<>NIL) DO

        BEGIN
        //Form1.Memo1.Lines[5]:= curr_con^.object1+'=';
        //Form1.Memo1.Lines[6]:= FloatToStr(curr_con^.value)+' , к.онп.= '+FloatToStr(curr_con^.cert);
        curr_con:=curr_con^.next;
        IF (curr_con<>NIL) THEN //Form1.Memo1.Lines[7] := ' и '
        ELSE //writeln
        END;

        //writeln
    END;

PROCEDURE explain_why(f_object:word_string);

```

```

BEGIN
//      writeln;

      Form1.Memo1.Lines[0] := 'Так как в БЗ отсутствует правило';
Form1.Memo1.Lines[0] := Form1.Memo1.Lines[0] +' вывода значения для объекта '+f_object+
      ' то нужно запросить пользователя.';
//      writeln
      END;

PROCEDURE pursue(f_object:word_string);

var
  f_value:word_string;
  curr_object:object_ptr;
  curr_value:value_ptr;
  curr_rule:rule_ptr;
  curr_prem:prem_ptr;
  bad:boolean;
  solved:boolean;
  lowest:integer;

begin

  curr_object:=find_object(f_object);
  if curr_object=nil then make_node(curr_object);
  curr_object^.name:=f_object;
{  if flag1 then
    begin
      curr_object^.sought:=false;
      flag1:=false;
    end;}
  if (curr_object^.sought<>true) then

BEGIN
  solved:=FALSE;
  curr_object^.sought:=TRUE;
  curr_rule:=find_rule(f_object,top_rule);
  WHILE ((curr_rule<>NIL) AND
    (ok_add(f_object,DEFINITE)=TRUE)) DO
    BEGIN
      curr_prem:=curr_rule^.prem;
      bad:=FALSE;
      lowest:=DEFINITE;
      WHILE ((curr_prem<>NIL) AND (bad=FALSE)) DO
        BEGIN
          form1.Label7.Caption:=form1.Label7.Caption+curr_rule.name;
          //form1.Label7.Caption:=form1.Label7.Caption+curr_rule^.con.value;
          pursue(curr_prem^.object1);
          curr_value:=test(curr_prem^.object1,curr_prem^.value);
          IF curr_value=NIL THEN bad:=TRUE
          ELSE IF curr_value^.cert<lowest THEN
            Lowest:=curr_value^.cert;
            curr_prem:=curr_prem^.next
          END;
        END;
      IF (bad=FALSE) THEN
        BEGIN
          IF(explain=TRUE)THEN
            explain_how(curr_rule);
            conclude(curr_rule,lowest);
            solved:=TRUE;
            //if curr_rule^.con.object1='продолжительность' then
            //curr_rule^.con.value:=98'
          END;
          curr_rule:=find_rule(f_object,curr_rule^.next)
        END;
      IF(solved=FALSE)THEN
        BEGIN
          IF(explain=TRUE)THEN explain_why(f_object);
          //if flag then

          //  flag:=false;
          //  s_object2:=f_object;
          //  form2.showmodal;
          //  exit;

          ask(f_object,f_value);

          add_object(f_object,f_value);
          add_cf(f_object,f_value,DEFINITE)
        END
      END;
    END;
  END;

```

```

        end;

PROCEDURE see_objects(cf_on:boolean);
VAR
    curr_object:object_ptr;
BEGIN
//    writeln;
    i:=2;
//    Form1.Memo1.Lines.AddStrings();
    Form1.Memo1.Lines[0] := 'ФАКТЫ БАЗЫ ЗНАНИЙ';
//writeln;
    curr_object:=top_fact;
    WHILE (curr_object<>NIL) DO
        BEGIN
            see_vals(curr_object,cf_on);
            curr_object:=curr_object^.next;

        END;
//writeln;
    Form1.Label5.Caption := '(КОНЕЦ БАЗЫ ЗНАНИЙ)';
END;

procedure TForm1.N8Click(Sender: TObject);
begin
    Label1.Visible := True;
    Label1.Caption := 'Какова ваша цель?';
    Label2.Visible := True;
    Edit1.Visible := True;
    Edit1.Text := '';
    Edit1.SetFocus;

end;

procedure TForm1.N5Click(Sender: TObject);
begin

    max_choice:=8;
    choice_lim:=max_choice+1;
    choice:=0;
    read_file;
//Label3.Visible := true;
    Label3.Caption := 'Введите фамилию';
    edit2.visible := true;
    Edit2.SetFocus;

    form1.N5.Enabled:=False;
end;
procedure TForm1.N3Click(Sender: TObject);
begin
    //import;
    see_objects(TRUE);
    //readln
end;

procedure TForm1.N9Click(Sender: TObject);
begin
    form1.Memo1.Visible:=True;
    s_object := Edit1.Text;
    choice:=0;

    if flag then
        import;
        //read_file;
//    writeln;
//    writeln;
        //writeln('Хотите ли вы получить объяснение хода вывода?');
        //writeln('1 - да');
        //writeln('2 - нет');
        //readln(choice);
        //IF (choice=1) THEN
        explain:=TRUE;
        //ELSE explain:=FALSE;
        //writeln('Какова ваша цель?');
        //writeln('(Введите:(ОБЪЕКТ))');
        //readln(s_object);
        flag:=true;
        pursue(s_object);
        p_result(s_object);

    form1.N1.Enabled:=True;
    form1.N2.Enabled:=True;

```

```

form1.N3.Enabled:=True;
form1.N4.Enabled:=True;
form1.N6.Enabled:=True;
form1.N7.Enabled:=True;

end;
procedure TForm1.N2Click(Sender: TObject);
begin
form1.Label6.Visible:=True;
form1.Button1.Visible:=True;
form1.Edit3.Visible:=True;
Label6.Caption := 'Какой факт вы хотите проверить?'+#13+'Введите: (ОБЪЕКТ)=(ЗНАЧЕНИЕ)';
Edit3.SetFocus;

end;
procedure TForm1.Button1Click(Sender: TObject);
begin
s_line := Edit3.Text;
split(s_line,s_object,s_value);
IF test(s_object,s_value)=NIL THEN
Label6.Caption := 'HE BEPHO'
ELSE
Label6.Caption := 'BEPHO'
end;

procedure TForm1.N10Click(Sender: TObject);
var
f_value:word_string;
begin
form1.Label5.Visible:=True;
form1.Label5.Caption:='Какой факт хотите добавить?';
form1.Edit4.Visible:=True;
form1.Edit4.SetFocus;
//ask(s_object2,f_value);
flag1:=true;
end;
procedure TForm1.Button2Click(Sender: TObject);
var
pick,pick1,num_vals:integer;
//okay:boolean;
word,word1,select,f_value:word_string;
begin
select:=form1.edit3.text;
//p_question(f_object);

if(find_legal(s_object2,1,word)=false)then
begin

//f_value:=form1.Edit3.Text
end
else
begin
word1:=word;
num_vals:=1;
while(find_legal(s_object2,num_vals,word)<>false)do
begin
//form1.Memo1.Lines[0]:=form1.Memo1.Lines[0]+inttostr(num_vals)+'.'+word;
num_vals:=num_vals+1;
end;
pick:=0;
while((pick<1)or(pick>=num_vals))do
begin
//form1.Memo1.Lines[0]:=form1.Memo1.Lines[0]+'Пожалуйста, введите номер от 1 до'+inttostr(num_vals-1);
//exit; //select:=form1.Edit3.Text;
// readln(select);
pick:=ord(select[1])-48;
if(length(select)>1)then begin
pick1:=ord(select[2])-48;
if((pick1>=0)and(pick1<10))then
pick:=pick*10+pick1
end
end;
{word:=word1;
okay:=find_legal(s_object2,pick,word); }
f_value:=word1;
//exit;
end;
add_object(s_object2,f_value);
add_cf(s_object2,f_value,DEFINITE);

end;
procedure TForm1.N1Click(Sender: TObject);

```

```

begin
form1.Label3.Visible:=False;
Form1.Label6.Caption:='Какой факт вы хотите'+#13+'добавить в базу знаний?';
// (Введите: (ОБЪЕКТ) = (ЗНАЧЕНИЕ), кд=(ЦЕЛОЕ));
{readln(s_line);
s_cf:=get_cf(s_line);
split(s_line,s_object,s_value);
IF (ok_add(s_object,s_cf)=true) THEN

BEGIN
add_object(s_object,s_value);
add_cf(s_object,s_value,s_cf);
writeln('Факт добавлен')
END

ELSE

BEGIN

form1.Label3.visible := True;
form1.Label3.Caption := 'Добавление не разрешено. Объект ('+s_object+')'+#13+'не объявлен многозначным.';
END}

end;
procedure TForm1.Button3Click(Sender: TObject);
var
curr_object:object_ptr;
begin
s_line := Edit4.Text;
s_cf:=get_cf(s_line);
split(s_line,s_object,s_value);
IF s_object="" THEN
Label5.Caption := 'Объект не найден'
ELSE
begin
Label5.Caption := 'Факт добавлен';
//curr_object:=find_object(s_object);
//curr_object^.value_list:=test(s_object,s_value);
add_object(s_object,s_value);
add_cf(s_object,s_value,s_cf);
s_object:='продолжительность';
curr_object:=find_object(s_object);
curr_object^.sought:=false;
curr_object^.multivald:=true;
end;
end;
procedure TForm1.N4Click(Sender: TObject);
begin
Form1.Label3.Caption:='Какой объект'+#13+'Вы хотите объявить многозначным?'+#13+
'(Введите:(ОБЪЕКТ))';
Edit2.SetFocus;
end;

procedure TForm1.Button4Click(Sender: TObject);
var
curr_object:object_ptr;
begin
s_object:=edit2.text;
make_multi(s_object);
Form1.Label3.caption:='Объект '+s_object+#13+booltostr(mv,true);// теперь многозначный';
s_object:='продолжительность';
curr_object:=find_object(s_object);
form1.Label3.caption:=form1.Label3.caption+#13+booltostr(curr_object^.multivald,true);
end;
BEGIN
flag:=true;
last_try:=NIL;
top_fact:=NIL;
end.

```

## Приложение Б

### Акты о внедрении результатов диссертации



#### Общество с ограниченной ответственностью «НПО СОЮЗ»

ИНН 5609064666, КПП 563801001, ОГРН 1075658022384  
Юридический адрес: 460511, Оренбургская область, Оренбургский район, село Приотово, проезд Речной, 10  
Почтовый адрес: 460000, г. Оренбург, проезд Автоматики, дом 8, офис 620-621  
р/с 40702810904100000968 в ПАО АКБ «Авангард» г. Москва, БИК 044525201, к/с 30101810000000000201  
тел.: 8(3532) 60-07-64; Email: 600764@list.ru

Исх. № 170/1-24 от «20» марта 2024 г.  
[об использовании результатов  
исследования]

#### АКТ

об использовании результатов исследования  
Кулешова Игоря Валерьевича  
«РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ И МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ  
ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЕМ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ»

Настоящий акт составлен о том, что результаты исследований применены при проектировании объектов капитального строительства.

В частности, использованы:

- методика оптимального выбора места установки монтажного крана при разработке проекта организации строительства;
- методика обеспечения оптимальной готовности процессов к соединению на основе проектной симметризации при разработке графика производства работ в составе проекта производства работ.

Эффективность внедрения результатов исследования заключается в повышении организационно-технологической надежности строительного производства.

Директор ООО «НПО СОЮЗ»



Ольховой А.С.



**Общество с ограниченной ответственностью  
«Уральская инвестиционная компания»**

460525, Оренбургская область, Оренбургский район, село Благословенка, улица Кооперативная, дом 43  
тел/факс: 440-340 ИНН 5638050428, КПП 563801001

*Иск. № 86 от 03.06.2025 г.*

**АКТ**

об использовании результатов диссертационной работы  
Кулешова Игоря Валерьевича  
«РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ И МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ  
ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЕМ  
ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ»,  
представленной на соискание ученой степени кандидата технических наук.

Комиссия в составе:

1. Главного инженера /Григорьева М.А./
2. Зам. директора /Маковников В.В./
3. Главного технолога /Воробьева А.В./

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы  
Кулешова И.В. применены при строительстве жилого Микрорайона им. Маршала  
Советского Союза Рокоссовского.

В частности, использованы:

- Методика определения оптимальных величин заказа стеновых панелей и панелей перекрытия;
- Методика оптимального выбора места установки монтажного крана;
- Методика оптимального выбора количества звеньев в строительно-монтажной бригаде в зависимости от монтажной отметки.

Эффективность внедрения результатов диссертационной работы заключается в  
повышении эффективности строительно-монтажных работ и использования  
грузоподъемных механизмов.

Главный инженер ООО «УИК»

Зам. директора ООО «УИК»

Главный технолог ООО «УИК»



Григорьев М.А. /

Маковников В.В. /

Воробьева А.В. /



Общество с ограниченной ответственностью  
«Специализированный застройщик  
«ЖилСтройИнвест»

ОГРН 1145658018956 ИНН/КТ 15638065294/563801001

Адрес: 460525, Оренбургская область, Оренбургский район, с. Благословенка, ул. Кооперативная д. 43

Вх. № 195 от 18.11.2024 г.

АКТ

об использовании результатов кандидатской диссертации

Кулешова Игоря Валерьевича

«РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ И МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО УПРАВЛЕНИЯ СОЕДИНИМЫМИ ПРОИЗВОДСТВЕННЫМИ ПРОЦЕССАМИ».

Комиссия в составе:

Главного инженера /Григорьев МА/

Зам. директора /Кондрашов АВ/

Главного технолога /Воробьева АВ/

составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной работы Кулешова ИВ применены при строительстве жилого микрорайона Микрорайона им. Маршала Советского Союза Рокоссовского.

Использование результатов работы позволило повысить качество строительно-монтажных работ и эффективность использования грузоподъемных механизмов.

Главный инженер ООО «СЗ «ЖилСтройИнвест»

Главный инженер ООО «СЗ «ЖилСтройИнвест»

Главный инженер ООО «СЗ «ЖилСтройИнвест»

Григорьев МА /

Кондрашов АВ /

Воробьева АВ /







**Общество с ограниченной ответственностью  
«Научно-производственное предприятие «Гратис»  
ООО «НПП «Гратис»**

Адрес: 460018, Оренбургская обл., г. Оренбург, ул. Степана Разина, 128  
телефон: (3532) 31-63-22; e-mail: npp\_gratis@mail.ru  
ИНН 5612069103 КПП 561201001 ОГРН 1095658001592 ОКПО 89456862 ОКВЭД 71.12.12  
Р/с 40702810803000036630, Приволжский филиал ПАО "Промсвязьбанк"  
г. Нижний Новгород БИК 042202803 К/с 30101810700000000803

Исх. № 18 от "10" марта 2025 г.

г. Оренбург

**АКТ**

об использовании результатов исследования

Кулешова Игоря Валерьевича

**«РАЗРАБОТКА КРИТЕРИЕВ И МОДЕЛЕЙ В ЗАДАЧАХ ОПТИМАЛЬНОГО  
УПРАВЛЕНИЯ СОЕДИНЕНИЕМ ПРОИЗВОДСТВЕННЫХ ПРОЦЕССОВ»**

Результаты научных исследований, примененные при проектировании жилых и общественных зданий, позволили повысить эффективность строительно-монтажных работ и использования грузоподъемных механизмов, благодаря применению методики обеспечения оптимальной готовности процессов к соединению на основе проектной симметризации и оптимального выбора места установки монтажного крана при разработке проекта организации строительства.

Директор

ООО «НПП «Гратис»



Миронов С.В.

**Общество с ограниченной ответственностью**  
**«Специализированный застройщик**  
**«УСК-КапСтрой»**



**ОГРН: 1175658009064 ИНН/КПП 5609185565/560901001**

Адрес: 460050, г. Оренбург, улица Монтажников д. 22 каб. 201

16.04.25 ✓ 95

**АКТ**

**о внедрении результатов диссертационной работы Кулешова Игоря Валерьевича на тему: «Разработка критериев и моделей в задачах оптимального управления соединением производственных процессов».**

Комиссия ООО «СЗ «УСК-КапСтрой» в составе Григорьева М.А. и Ситникова А.О. составила настоящий акт об использовании результатов диссертационной работы Кулешова И.В. в производственной деятельности ООО «СЗ «УСК-КапСтрой».

Внедрение результатов диссертационной работы заключается в повышении эффективности использования рабочей силы, машин и механизмов на основе использования методики определения оптимальной величины и номенклатуры заказа стеновых панелей и оптимальной организации грузоподъемных операций.

Главный инженер ООО «СЗ «УСК-КапСтрой»

Директора ООО «СЗ «УСК-КапСтрой»



*(Signature of M.A. Grigoriev)*  
*(Signature of A.O. Sitnikov)*

Григорьев М.А.

Ситникова А.О.



**МИНОБРНАУКИ РОССИИ**

**Федеральное государственное  
бюджетное образовательное учреждение  
высшего образования  
«Оренбургский государственный  
университет»  
(ОГУ)**

Победы пр., д. 13, г. Оренбург, 460018  
Тел. (3532) 77-67-70,  
e-mail: post@mail.osu.ru; http://www.osu.ru; http://ory.pf

09.06.25 № 57  
на № \_\_\_\_\_ от \_\_\_\_\_

«Утверждаю»

Проректор по научной работе

ФГБОУ ВО ОГУ

С.Н. Летута



«09» июня 2025 г.

**АКТ**

научно-технической комиссии о внедрении положений и выводов диссертации  
Кулешова Игоря Валерьевича «Разработка критериев и моделей в задачах оптимального  
управления соединением производственных процессов», представленной на соискание ученой  
степени кандидата технических наук.

Комиссия в составе декана архитектурно-строительного факультета ФГБОУ ВО  
«Оренбургский государственный университет» (ОГУ), канд. техн. наук, доцента  
Дергунова С.А.; заведующего кафедрой «Технологии строительного производства», д-р. тех.  
наук, доцента Гурьевой В.А. составила настоящий акт о том, что результаты диссертационной  
работы Кулешова И.В. внедрены в учебный процесс на кафедре «Технология строительного  
производства» архитектурно-строительного факультета Оренбургского государственного  
университета.

Положения диссертационной работы используются при подготовке выпускных  
квалификационных работ и при изучении учебных дисциплин по направлению 08.03.01  
«Строительство» при подготовке бакалавров: «Организация, управление и планирование в  
строительстве», «Освидетельствование и управление техническим состоянием объектов  
недвижимости», «Основы организации строительного производства», а также при подготовке  
магистров: «Освидетельствование и управление техническим состоянием объектов  
недвижимости».

Реализация полученных автором результатов исследований имеет научную значимость и  
практическую важность.

Декан архитектурно-строительного факультета

Дергунов С.А.

Заведующий кафедрой  
«Технология строительного производства»

Гурьева В.А.



**Приложение В**  
**Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ**

РОССИЙСКАЯ ФЕДЕРАЦИЯ



**СВИДЕТЕЛЬСТВО**  
о государственной регистрации программы для ЭВМ  
**№ 2021668489**

**Программа расширения ВІМ-технологии**

Правообладатель: *федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования «Оренбургский государственный университет» (RU)*

Авторы: *Пищухин Александр Михайлович (RU), Кулешов Игорь Валерьевич (RU)*

Заявка № **2021667854**  
Дата поступления **12 ноября 2021 г.**  
Дата государственной регистрации  
в Реестре программ для ЭВМ **17 ноября 2021 г.**

Руководитель Федеральной службы  
по интеллектуальной собственности

  
 **Г.П. Ивлиев**