



**СЕРИЯ**  
**СОВРЕМЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО**  
Под редакцией профессора А.И. Меньлюка

**Оптимизация организационно-  
технологических решений  
реконструкции высотных  
инженерных сооружений**

*Меньлюк А. И., Ершов М. Н.,  
Никифоров А. Л., Меньлюк И. А.*



*Менейлюк А. И.*

*Ершов М. Н.*

*Никифоров А. Л.*

*Менейлюк И. А.*

**ОПТИМИЗАЦИЯ  
ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
РЕКОНСТРУКЦИИ  
ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

*Київ*

*ТОВ НВП «Інтерсервіс»*

*2016 г.*

УДК 658.511: 69.055

ББК 38.1

Рекомендовано к изданию решением Учёного совета Одесской государственной академии строительства и архитектуры от 31 марта 2016 г.

Менейлюк А. И.

Оптимизация организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений / А. И. Менейлюк, М. Н. Ершов, А. Л. Никифоров, И. А. Менейлюк. – К.: ТОВ НВП «Інтерсервіс», 2016. – 332 с.

ISBN 978-617-696-518-3

Рецензенты:

**Гончаренко Д. Ф.**, доктор технических наук, профессор (Харьковский национальный университет строительства и архитектуры);

**Осипов А. Ф.**, доктор технических наук, профессор (Киевский национальный университет строительства и архитектуры).

Монография посвящена оптимизации строительных проектов при выборе решений реконструкции высотных инженерных сооружений. Работа содержит анализ технического состояния высотных инженерных сооружений в Украине и за её пределами и способов моделирования строительных процессов. В ней представлена методика экспериментально-статистического моделирования организационно-технологических решений реконструкции и их оптимизации. На конкретных примерах показано, как выполнить численный эксперимент, определить закономерности изменения показателей организационно-технологических решений реконструкции, а также противоаварийных мероприятий для высотных инженерных сооружений. Представлен пример многокритериального анализа технологий и оборудования для выбора методов металлизации конструкций таких объектов. Апробация разработанной методики при решении практических оптимизационных задач в условиях заданных ограничений и визуализация предложенных технологических альтернатив проведения реконструкции показывает эффективность предлагаемой методики.

Представленная методика может быть использована для выбора эффективных моделей других инвестиционно-строительных проектов. Монография предназначена для широкого круга читателей: научно-педагогических работников, студентов и специалистов в области строительства.

Ил. 129. Табл. 20. Библиогр.: 84 назв.

© А. И. Менейлюк, М. Н. Ершов, А. Л. Никифоров, И. А. Менейлюк, 2016

ISBN 978-617-696-518-3

[Содержание](#)

<b>СОДЕРЖАНИЕ .....</b>	<b>3</b>
<b>ВВЕДЕНИЕ .....</b>	<b>7</b>
<b>ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И СОКРАЩЕНИЯ .....</b>	<b>9</b>
<b>1. АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ .....</b>	<b>11</b>
1.1 Анализ технического состояния высотных инженерных сооружений в Украине и за её пределами .....	11
1.2 Анализ способов моделирования процессов реконструкции .....	39
1.3 Анализ возможных методов математического моделирования для оптимизации проектов реконструкции .....	49
1.4 Анализ технологий информационного моделирования зданий .....	52
Выводы по разделу 1 .....	82
<b>2. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ .....</b>	<b>83</b>
2.1 Обоснование направления исследования .....	83
2.2 Алгоритм оптимизации организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений .....	87
2.3 Особенности применения экспериментально-статистического моделирования и теории планирования эксперимента в оптимизационных исследованиях .....	91
2.4 Классификация используемых показателей и факторов, влияющих на них, методы их подбора и формализации .....	97
Выводы по разделу 2 .....	124
<b>3. ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ..</b>	<b>125</b>
3.1 Результаты технического обследования объекта реконструкции .....	125



3.2 Особенности объекта реконструкции, влияющие на выбор наиболее значимых показателей и факторов .....	128
3.3 Методика оптимизации организационных решений реконструкции. Выбор наиболее значимых показателей и факторов .....	129
3.4 Планирование численного эксперимента.....	132
3.5 Основные результаты исследования.....	135
3.6 Закономерности изменения выбранных показателей при варьировании исследуемых факторов .....	136
3.7 Выбор оптимальных решений реконструкции в условиях заданных ограничений.....	157
Выводы по разделу 3.....	168
<b>4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ.....</b>	<b>170</b>
4.1 Анализ результатов технического обследования аварийного объекта	170
4.2 Алгоритм оптимизации конструктивно-технологических решений противоаварийных мероприятий.....	174
4.3 Обоснование принятого плана численного эксперимента для построения ЭС-модели.....	177
4.4 Предпосылки для проведения расчёта.....	180
4.5 Результаты экспериментально-статистического моделирования.....	184
4.6 Оптимизация противоаварийных мероприятиях при ограничении конструктивно-технологических решений .....	199
Выводы по разделу 4.....	207
<b>5. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МЕТАЛЛИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ВЫСОТНОГО ИНЖЕНЕРНОГО СООРУЖЕНИЯ.....</b>	<b>209</b>
5.1 Сравнение возможных методов восстановления основных конструктивных элементов высотного инженерного сооружения.....	209

5.2 Методика и результаты многокритериального анализа методов металлизации.....	210
Выводы по разделу 5.....	219
<b>6. ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ .....</b>	<b>221</b>
6.1 Методика проведения исследований.....	221
6.2 Разработка технологических альтернатив базовому проекту реконструкции.....	224
6.3 Обоснование плана численного эксперимента по оптимизации организационно-технологических решений реконструкции .....	248
6.4 Предпосылки численной оптимизации.....	251
6.5 Основные результаты оптимизационного исследования.....	257
6.6 Решение оптимизационных задач в условиях заданных ограничений	280
Выводы по разделу 6.....	299
<b>7. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АЛЬТЕРНАТИВ ПРОЕКТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ .....</b>	<b>304</b>
7.1. Разработка алгоритма визуализации проектов реконструкции высотных инженерных сооружений с использованием программного продукта Synchro PRO .....	304
7.2 Примеры использования программного продукта Synchro PRO для визуализации технологических альтернатив проектов реконструкции высотных инженерных сооружений.....	313
Выводы по разделу 7.....	314
<b>8. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ.....</b>	<b>315</b>
8.1 Техничко-экономическая эффективность оптимизационных решений рассмотренных проектов реконструкции .....	315
8.2 Достоинства и перспективы развития предлагаемой методики.....	317

Выводы к разделу 8 .....	320
<b>ОБЩИЕ ВЫВОДЫ.....</b>	<b>321</b>
<b>СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ .....</b>	<b>323</b>
<b>СПИСОК ПРИЛОЖЕНИЙ .....</b>	<b>330</b>

Только для  
некоммерческого  
использования

## ВВЕДЕНИЕ

Монография посвящена решению важной задачи выбора эффективных методов при реконструкции высотных инженерных сооружений путём экспериментально-статистического моделирования организационно-технологических решений с использованием современных программных продуктов и методов математической статистики, а также оптимизации полученных моделей по организационным, технологическим и финансовым критериям, в том числе, в условиях заданных ограничений.

В Украине и за её пределами имеется большое количество высотных инженерных сооружений. Большая часть из них эксплуатируется десятки лет и более. Многие высотные инженерные сооружения требуют проведения ремонтно-восстановительных работ, а некоторые – противоаварийных. Реализация таких проектов требует значительных затрат. Существует множество вариантов выполнения работ по реконструкции. Они могут иметь различную стоимость, сроки выполнения. Специфика некоторых объектов требует специфических технологических решений, определённого графика работ (например: работа только в ночную смену, использование ограниченного количества людей, механизмов или календарного времени). В нормативных документах и изученных информационных источниках отсутствуют указания по выбору эффективных организационно-технологических решений при реконструкции таких сооружений. Поэтому работы по реконструкции требуют моделирования и последующей оптимизации по наиболее важным критериям.

Использование традиционных методов моделирования строительных процессов не даёт возможности оценить эффективность вариантов организационно-технологических решений. Моделирование вариантов таких решений с помощью современных компьютерных программ, определение основных закономерностей изменения их показателей и анализ экспериментально-статистических моделей позволяет определить лучшие модели по выбранным критериям эффективности.

В монографии представлена методика исследований и методика экспериментально-статистического моделирования и оптимизации организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений. Показаны примеры численных экспериментов с определением закономерно-

стей изменения показателей организационно-технологических решений реконструкции, а также противоаварийных мероприятий различных сооружений. Проведён многокритериальный анализ и выбор методов металлизации конструкций таких объектов. Представлены результаты апробации разработанной методики при решении практических оптимизационных задач в условиях заданных ограничений, показаны способы и примеры визуализации технологических альтернатив.

Авторы выражают благодарность за помощь в подготовке монографии Лобаковой Л., Малостолову О., Мамонтову А., Маркевич О., Турбину К.

Авторы будут признательны за замечания по представленным результатам и пожелания по развитию представленной методики.

*Менейлюк Александр Иванович* [pr\\_mai@mail.ru](mailto:pr_mai@mail.ru)

*Для контактов* *Ершов Михаил Николаевич* [mnershov@gmail.com](mailto:mnershov@gmail.com)

*с авторами:* *Никифоров Алексей Леонидович* [aleksey-nikiforov@mail.ua](mailto:aleksey-nikiforov@mail.ua)

*Менейлюк Иван Александрович* [meneviv@gmail.com](mailto:meneviv@gmail.com)

## ОСНОВНЫЕ ТЕРМИНЫ И СОКРАЩЕНИЯ

1. 4D-моделирование – процесс создания компьютерной трёхмерной модели строительного объекта, совмещённой с графиком производства работ. Позволяет увидеть производство строительных или восстановительных работ во времени и в пространстве.
2. 4D-модель – компьютерная модель, получаемая в ходе 4D-моделирования.
3. BIM-технологии – парадигма строительной деятельности, при которой все этапы строительного процесса производятся с использованием единой компьютерной модели объекта, включающей все виды необходимой информации (проектно-сметная документация, график производства работ, управление поставками, бухгалтерский учёт и т.д.) и ассоциативные ссылки между ними.
4. «Вывешивание» – технология проведения строительных работ, при которой с целью восстановления или замены конструкции последовательно выводятся из напряженно-деформированного состояния путём передачи нагрузки на временные несущие конструкции.
5. Высотное инженерное сооружение – сооружение, возведённое с техническими, культурно-развлекательными или промышленными целями, имеющее значительную высоту.
6. КТ решения – конструктивно-технологические решения реконструкции.
7. Металлизация – общее название методов неразрушающего восстановления металлических конструкций. Суть их заключается в нагреве обрабатываемого элемента и наплавлении дополнительного металла.
8. Многокритериальный анализ – методика сравнения и выбора наиболее предпочтительного по нескольким критериям объекта, использующая систему оценок таких объектов и инструменты сортировки, группировки, фильтрации и ранжирования критериев.
9. ОТ решения – организационно-технологические решения реконструкции.



10. Показатель – количественный исходящий параметр исследуемой строительной системы, измеряемый в рамках оптимизационного исследования. Аналогом этого понятия в настоящей работе может служить «критерий оптимизации».
11. ПР – проект реконструкции.
12. Промальп – промышленный альпинизм, одна из технологий проведения высотных строительных работ.
13. Противоаварийные мероприятия – комплекс мер, применяемых для сохранения и консервации технического состояния аварийного сооружения.
14. Реконструкция – вид градостроительной деятельности по изменению параметров объектов строительства.
15. Технологическая альтернатива – один из технологических вариантов проведения реконструкционных или противоаварийных работ.
16. Фактор – количественный входящий параметр исследуемой строительной системы, уровни которого варьируются в зависимости от задаваемых условий.
17. ФЭ решения – финансово-экономические решения реконструкции.
18. Численный эксперимент – исследование, ставящее цель выявления численных закономерностей между показателями и факторами. В качестве исследуемой системы выступает математическая модель явления, имеющая различные характеристики в зависимости от точки плана эксперимента.
19. ЭС-моделирование – совокупность представлений, методов и алгоритмов, которая связывает теорию планирования эксперимента, регрессионный анализ и другие средства математической статистики с целью получения и анализа закономерностей изменения показателей под влиянием исследуемых факторов.
20. ЭС-модель – формула, получаемая в результате ЭС-моделирования.

## 1. АНАЛИЗ ИНФОРМАЦИИ ПО ТЕМЕ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 1.1 Анализ технического состояния высотных инженерных сооружений в Украине и за её пределами

В современной Украине существует огромное наследие сооружений, оставленных в результате развития промышленности, инфраструктуры и культуры Советского Союза. Многие из этих сооружений являются проявлением величайшей инженерной мысли и остаются неотъемлемой частью функционирования промышленной и других видов деятельности Украины. Большинство данных сооружений на сегодняшний день имеют за плечами 30-50 и более лет непрерывной эксплуатации. Это привело к тому, что некоторые из них находятся в аварийном или близком к нему состоянии. Кабинет министров Украины принял постановление о техническом осмотре всех высотных сооружений страны, подкрепив, после останкинского пожара, свое распоряжение несколькими миллионами гривен на неотложные работы по реставрации и ремонту наиболее ценных сооружений. Как минимум двенадцать башен нуждаются в немедленной помощи [76].

Учитывая величину объемов предполагаемых работ, рационально было бы разработать и использовать методику выбора наиболее эффективных моделей реконструкции таких сооружений путем планирования численного эксперимента, экспериментально-статистического моделирования производственных процессов, использования современных программных продуктов и оптимизации моделей по заданным критериям, с учётом действующих для каждого объекта ограничений.

В [таблице 1.1](#) приведены результаты анализа сооружений в Украине, высота которых 300 и более метров; в [табл. 1.2](#) – 250-300 метров [81]. Они по-прежнему несут в себе инженерный интерес и занимают значительное место в инфраструктуре Украины.

Ниже приведены комментарии к [табл. 1.1](#), и [1.2](#) по некоторым сооружениям, представленным в них.

Таблица 1.1

## Перечень высотных инженерных сооружений в Украине (свыше 300 м.)

№	Фото	Название	Высота	Год	Тип	Использование	Город
1	2	3	4	5	6	7	8
1		Киевская телебашня	385	1973	Решётчатая мачта	Установка передатчиков	Киев
2		Донецкая телемачта	361	1992	Стальная мачта	Телекоммуникации	Донецк
3		Телевизионная башня Винница	354	1961	Стальная поддерживаемая мачта, имеет 2 уровня и 3 поперечины, на которых крепятся поддерживающие тросы	Телекоммуникации	Винница

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
4		Дымовая труба ТЭЦ-5	330	1991	Дымовая труба	Электростанция	Посёлок Подворки Харьковской области
5		Дымовая труба Зуевской ТЭС	330	1981	Дымовая труба	Электростанция	Посёлок Зугрэс Донецкая область
6	 Труба № 1 (справа) Углегорской ТЭС	Дымовая труба № 1 Углегорской ТЭС	320	1972	Дымовая труба	Электростанция	Город Светлодарск Донецкая область
7	 Труба № 2 (слева) Углегорской ТЭС	Дымовая труба № 2 Углегорской ТЭС	320	1975	Дымовая труба	Электростанция	Город Светлодарск Донецкая область

Продолжение таблицы 1.1

1	2	3	4	5	6	7	8
8	 <p>Труба №1 (слева) Запорожской ТЭС</p>	Дымовая труба № 1 Запорожской ТЭС	320	1972	Дымовая труба	Электростанция	Город Энергодар Запорожская область
9	 <p>Труба №2 (справа) Запорожской ТЭС</p>	Дымовая труба № 2 Запорожской ТЭС	320	1975	Дымовая труба	Электростанция	Город Энергодар Запорожская область

Таблица 1.2

Перечень высотных инженерных сооружений в Украине (250-300 м.)

№	Название	Высота	Год	Тип	Использование	Город
10	Дымовая труба Киевской ТЭЦ-6	270	1982	Дымовая труба	Электростанция	Киев
11	Мачта радицентра в Броварах	260	1972	Стальная радиомачта	Броварский радиопередающий центр	Бровары



### Киевская телебашня

- Основные характеристики.
  - 32–е место в мире
  - Местонахождение – Киев
  - Строительство – 1968–1973 г.
  - Высота – 385 м. Антенна / Шпиль.
  - Архитектор – Виталий Шимановский.
  - Тип – решётчатая мачта.
  - Масса металлоконструкций башни – 2700 т.
- Конструктивно-технологическая схема (инженерное решение).

Киевская телебашня, изображённая на [рисунке 1.1](#) – металлическое пространственное решётчатое свободностоящее высотное сооружение высотой 385 метров. Общая схема башни приведена на [рисунке 1.2](#).



Рис. 1.1 Киевская телебашня

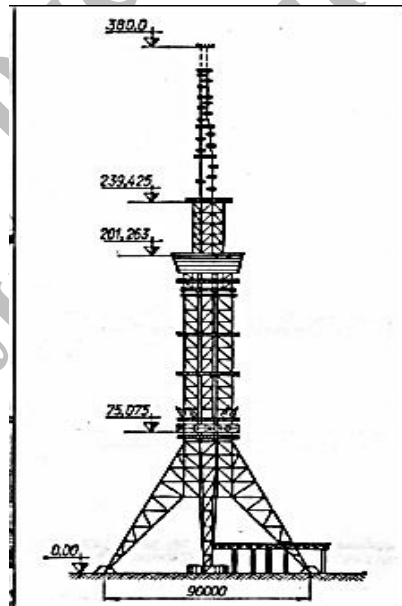


Рис. 1.2 Схема киевской телебашни

Она построена без болтов и заклепок, все монтажные соединения выполнены электросваркой, что позволило уменьшить вес башни на 20% по сравне-

### [Содержание](#)

нию с болтовой схемой. Впервые в строительной практике она сооружалась методом подрачивания. В результате применения этого метода вся сборка и сварка конструкций выполнялась на небольшой высоте, что обеспечило высокое качество и безопасность работ. Башня целиком состоит из стальных труб различного диаметра. Нижняя часть башни (база) состоит из четырёх наклонных решётчатых опор (рис. 1.3), весом по 170 т., которые поддерживают призматическую решётчатую часть. Расстояние между пятнами противоположных опор – 90 м., опоры имеют высоту 72 м.



Рис. 1.3 База башни

На отметке 75 м. находится вход в нижнее техническое строение башни (рис. 1.4). Между отметками 72 м. и 239 м. башня представляет собой восьмигранную решетчатую призму, собранную из стальных труб различного диаметра (рис. 1.5). В центре башни располагается вертикальный ствол (рис. 1.6), диаметр которого до отметки 270 м. составляет 4 м., а затем по мере приближения к верхушке он начинает постепенно уменьшаться до 0,72 м. Он служит шахтой лифта и плавно переходит в антенную часть. На башне установлены два лифта, один из которых работает до отметки 200 м., другой – 329 м.. На отметках 80 и 200 м. расположены два технических помещения [78].

- Историческая справка.

В 1968 г. на месте старого городского кладбища неподалеку от нынешней станции метро «Дорогожичи» началось строительство новой телебашни. За основу был взят практически готовый проект института «УкрНИИпроект-

стальконструкция» им. В.Н. Шимановского, который ранее принимал участие в конкурсе на строительство Останкинской телебашни. Московский конкурс этот проект проиграл, а вот в Киеве он пришелся очень кстати. Башня была смонтирована отечественными специалистами, с помощью местных материалов и технологий. Сварку швов выполняли автоматами, разработанными институтом электросварки им. Е. О. Патона. Изготовление металлоконструкций осуществлялось на заводе им. Бабушкина (Днепропетровск). Причем, для башни были использованы специальные стали высокой прочности. 30 июля 1973 г. строительство башни было завершено. Уже 16 августа того же года новый радиотелевизионный передающий комплекс начал свою работу. В то время он назывался «Республиканская передающая телевизионная станция» и входил в состав Республиканской производственно-технической дирекции радиосвязи, радиовещания и телевидения. Сейчас это Киевский филиал Концерна РРТ (радиовещания, радиосвязи и телевидения). На момент завершения строительства киевская телебашня была 2-й по высоте в мире (после Останкинской). Сейчас киевская телебашня по высоте занимает лишь 11-е место. Для сравнения: Останкинская телебашня (540 м.) сейчас на 4-м месте, Эйфелева (324 м.) на 28-м [78].



Рис. 1.4 Нижнее техническое строение башни



Рис. 1.5 Решетчатая конструкция башни



Рис. 1.6 Ствол телебашни

- Выявленные или возможные проблемы.

Как и в любом подобном сооружении, в киевской телебашне очень высока вероятность повреждений от пожаров. Так, в 2001 г. и на киевской телевизионной башне возник пожар. На высоте 340 м. загорелся фидер. Правда, когда техники поднялись на место загорания, там уже все погасло само собою [78]. 9 мая 2014 года произошло возгорание кабелей в туннелях между Киевской телебашней и помещением Национальной телерадиокомпании Украины [80].

Также возможны серьезные повреждения в результате коррозии металла конструкций и сварных швов.

- Возможные пути решения проблем.

Киевская телевизионная башня входит в список объектов, которым были выделены финансовые средства для реконструкции. Для борьбы с коррозией раз в пять лет производится окрашивание всей башни.

#### *Телевизионная мачта Винницы*

- Основные характеристики.
  - 57-е место в мире.
  - Нахождение – Винница.
  - Строительство – 1961 г.
  - Высота – 354 м.
  - Тип – Стальная мачта.
- Конструктивно-технологическая схема (инженерное решение).

Винницкая радиотелевизионная мачта, изображенная на [рисунке 1.7](#), представляет собой трубу диаметром около 2 метров из специальной стали.

Внутри трубы расположен лифт, который делает восемь остановок и поднимается на высоту 309 метров.



Рис. 1.7 Винницкая телемачта

Отличительной особенностью башни являются три поперечных перекладины, расположенные под углом 120 градусов одна к одной на двух ярусах вышки. Именно к ним крепятся поддерживающие тросы. Конструкция выпол-

нена в виде стальной, поддерживаемой тросами, мачты. Мачта имеет 2 уровня по 3 поперечины, на которых крепятся поддерживающие тросы ([рис. 1.8](#)) [[82](#)].

- Историческая справка.
  - Самая высокая башня из трубчатой стали в мире.
  - 1963 - 1967 годы – самое высокое сооружение в Советском Союзе, до момента постройки Останкинской телебашни.
  - Вторая по высоте в Украине, после Киевской телебашни.
  - 17-ое место среди телевизионных вышек мира по высоте.
  - Проект опоры изготовлены в 1959 году Московским проектным институтом «Проектстальконструкция».
  - Акт ввода в эксплуатацию законченного строительства объекта государственная комиссия подписала 1 октября 1963 [[73](#)].



*Рис. 1.8 Конструкция поперечин и несущие тросы*

- Выявленные или возможные проблемы.

В 1973 году вследствие короткого замыкания в электропроводке возник пожар на Винницкой радиотелемачте, уничтоживший практически всю ее кабельную сеть. Но опора выстояла, и мачту отремонтировали с помощью специалистов УкрНИИ «Проектстальконструкция». К счастью, этот пожар не разгорелся с такой силой, как в Останкино. Инженерам и операторам, работавшим на областном радиотелевизионном передающем центре (ОРТПЦ), сразу удалось добраться с огнетушителями к горящему участку по винтовой лестнице (подъехать туда на лифте, расположенном внутри, оказалось опасно), сбить пламя и побороть огненную стихию [[78](#)].



Еще в 1989 году после тщательного обследования телемачты в Виннице белорусские специалисты, обследовавшие башню, пришли к выводу, что ее состояние неудовлетворительное. Большинство сварных швов были признаны некачественными, огромные рей и тросы, удерживающие конструкцию, уже тогда основательно проржавели, и их следовало менять. Но денег на это не нашлось.

В 1997 году специалисты Винницкого технического университета подтвердили заключение белорусских коллег: необходим капитальный ремонт, следует заменить все конструкции, удерживающие мачту. Винничане взяли на себя ответственность гарантировать, что тросы выдержат еще в течение двух лет [73]. В 2001 году прошёл капитальный ремонт по замене несущих конструкций. Были отреставрированы распорки и заменены металлические канаты-растяжки [82].

- Возможные пути решения проблем.

Требуется постоянный мониторинг состояния конструкций мачты. Необходимо комплексный подход к защите стальных элементов башни от коррозии.

#### *Дымовая труба ТЭЦ-5.*

- Основные характеристики.
  - 4-е место в Украине, 14-я по высоте труба в мире.
  - Местонахождение – Харьков.
  - Строительство – 1991 г.
  - Высота – 330 м.
  - Тип – Дымовая труба.
- Конструктивно-технологическая схема (инженерное решение).

Для ТЭЦ, изображенной на [рисунке 1.9](#), была предложена принципиально новая конструкция дымовой трубы с проходным зазором ([рис. 1.10](#)).

Такая труба состоит из двух «стволов»: внутреннего газоотвода из металла и внешней несущей трубы из железобетона. Железобетонная труба имеет у основания диаметр 32,4 м. Начиная с высоты 165 м. и до самой вершины её диаметр составляет 15,3 м. Толщина стенки железобетонного ствола меняется от 80 см. внизу до 25 см. наверху. Отклонение верха трубы от ветрового напора



составляет около 20 см. Влияние солнечной радиации может вызвать более сильное отклонение вплоть до 70 см. Металлический ствол газоотвода ТЭЦ-5 имеет диаметр 10,9 м.



*Рис. 1.9 Дымовая труба ТЭЦ-5*

Ствол состоит из 6 царг весом по 161 т. Каждая царга крепится к несущему железобетонному стволу с помощью 14 металлических подвесок и растяжек. Податливость этих подвесок обеспечивает компенсацию температурных деформаций царг во время эксплуатации трубы. Проектная толщина стенки металлического ствола 8 мм, из которых 4,5 мм отведено на коррозионный износ при условии 30-летней эксплуатации. Скорость воздушного потока в газоотводе, в зависимости от режима работы котлов ТЭЦ, может меняться от 6 до 45 м/с. [77].



*Рис. 1.10 Конструкция дымовой трубы с проходным зазором*

Сначала для ввода в эксплуатацию блоков №1 и №2 Харьковской ТЭЦ-5 была построена «малая» металлическая труба высотой 100 м. А в начале 1991 г., вскоре после запуска блока № 3 и достижения станцией общей установленной электрической мощности 540 МВт, была введена в эксплуатацию высотная труба. В 70-е годы прошлого столетия для ТЭЦ было предложена принципиально новая конструкция дымовой трубы с проходным зазором. К главным преимуществам высотных труб с проходным зазором относят более высокую при равных размерах пропускную способность за счет отсутствия сужения диаметра газоотвода по высоте и более простую технологию строительства.

- Историческая справка.

Высотная труба является неотъемлемым компонентом современной ТЭЦ, выполняющая исключительно важную функцию рассеивания вредных газообразных выбросов и пыли.

Первоначальный проект внутреннего газоотвода, разработанный специалистами Донецкого отделения ВНДПИ «Оргэнергострой», предусматривал использование кремнебетона, имеющего высокую коррозионную стойкость. Однако из-за интенсивного разрушения построенных по тому же проекту кремнебетонных газоотводов на Запорожской и Углегорской ТЭС было принято решение трубу ТЭЦ-5 строить с металлическим газоотводом [77].

- Выявленные или возможные проблемы.

Основным фактором, угрожающим нормальному функционированию данного объекта является высоко агрессивная среда выбрасываемых газов. На несущую способность внешней железобетонной трубы, кроме внешней среды, влияют постоянные маятниковые отклонения в результате действия ветрового напора и солнечной радиации.

- Возможные пути решения проблем.

Необходим комплексный подход к восстановлению, выбор оптимальной технологии после тщательного обследования конструкций и анализа известных способов восстановления.

#### *Дымовые трубы ЗаТЭС.*

- Основные характеристики.

- 7-е место в Украине, 29-я по высоте труба в мире.
- Местонахождение – Запорожье.
- Строительство – 1975 г.
- Высота – 320 м.
- Тип – Дымовая труба.
- Конструктивно-технологическая схема (инженерное решение).

Дымовые трубы ЗаТЭС, изображённые на [рисунках 1.11](#) и [1.12](#), выполнены из железобетона. Диаметр в нижней части составляет 29 метров, в самом верху – 9 метров, толщина стен снизу – 85 сантиметров. Для фундамента трубы вырыли котлован диаметром 50 метров, уложили и заварили 600 тонн стальной арматуры, использовали около 7 тысяч тонн бетона. Для внутренней облицовки труб были использованы кремнебетонные плиты размерами 10 м. на 2,5 м. и весом 4,8 т. каждая. Монтаж конструкций башни проводили при помощи вертолетов, а также при помощи специально разработанных подъёмников и лебедок [[75](#)].



*Рис. 1.11 Запорожская ТЭС*

- Историческая справка.

Работы на первой дымовой трубе ЗаТЭС завершили в 1972 году, второй – в 1975-м (до этого времени в работе использовались небольшие временные трубы). Внутренняя облицовка трубы была новинкой в отечественной и мировой практике строительства таких объектов. Обычно их облицовывают кислотостойким кирпичом. Если бы пошли по этому пути, то работы заняли бы целый год. Решили применить плиты (10 м. х 2,5 м. и весом каждая 4,8 т.), изготовленные из так называемого кремнебетона. В результате – с облицовкой уложились в два месяца. К сожалению, впоследствии выяснилось, что кремнебетон не выдержал нагрузок, и его пришлось заменить [75].

- Выявленные или возможные проблемы.

Основным фактором, угрожающим нормальному функционированию данного объекта является высоко агрессивная среда выбрасываемых газов. Также на несущую способность железобетонной трубы, кроме внешней среды, влияют постоянные маятниковые отклонения в результате действия ветрового напора и солнечной радиации.

- Возможные пути решения проблем.

Для предотвращения критической ситуации необходим постоянный мониторинг состояния конструкций.



Рис. 1.12 Дымовые трубы ЗаТЭС

В случае обнаружения проблем в работе конструкции башни необходим анализ и выбор организационно-технологического решения работ по реконструкции.

*Монумент-скульптура «Родина-мать».*

Монумент «Родина-мать» в Киеве (рис. 1.13) – своеобразный символ женского начала, силы духа украинского народа. Скульптура установлена на

днепровских склонах, поэтому фигура «Родины-матери» видна даже из самых отдаленных точек Киева. Монумент является центром Национального музея истории Великой Отечественной войны 1941-1945 годов. Интересен тот факт, что высота монумента превышает высоту статуи Свободы в Америке. Скульптура «Родина-мать» от пьедестала до кончика меча достигает 62 м., а общая высота вместе с постаментом составляет 102 м.

В одной руке у нее 16-метровый 9-тонный меч, в другой – щит размером 13,8 м. и весом 13 т. с изображением герба СССР. Каркас скульптуры начинается на глубине 17,8 м., куда уходит бетонный колодец диаметром 34 м. У подножия монумента расположен музей Великой Отечественной войны [79].

На [рисунке 1.14](#) приведена сравнительная схема самых высоких памятников и скульптур в мире. В соответствии с ней, монумент занимает четвертое место в мире по высоте.

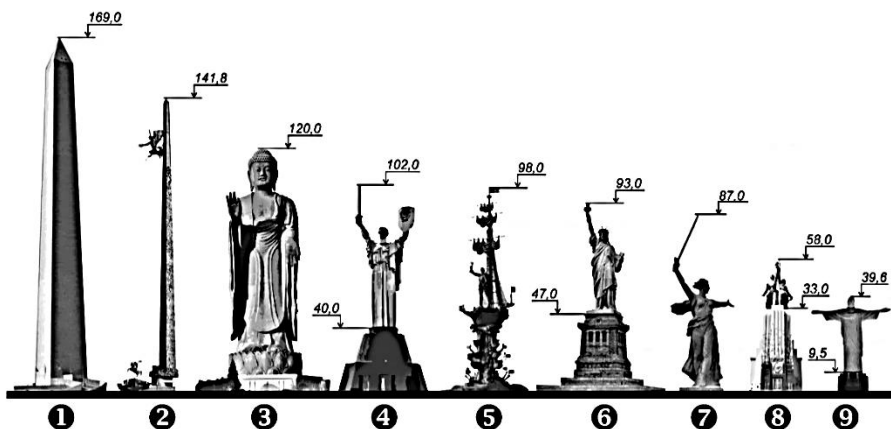


Рис. 1.13 Монумент «Родина-мать» в Киеве

- Основные характеристики.
  - Местонахождение – Киев.
  - Строительство – 1981 г.
  - Высота скульптуры (от пьедестала до кончика меча) – 62 м.
  - Общая высота с постаментом – 102 метра.
  - Всё сооружение – цельносварное и весит 450 т.
  - Тип – стальная мачта (в инженерном смысле).
- Конструктивно-технологическая схема (инженерное решение).

Сотрудники Киевского научно-исследовательского института «Проктстальконструкция», привлеченные к проектированию комплекса, принялись изучать мировую практику, в частности, заинтересовались опытом реконструкции статуи Свободы в Нью-Йорке. Впрочем, в украинской столице предстояло решить более масштабную задачу – киевская статуя по своим размерам была

намного внушительней. Поэтому обшивку выполнили из листов нержавеющей стали, каждый из которых был размером 50x50 см. и толщиной 1,5 мм. (рис. 1.15). Сталь отливали в Запорожье, а вот работы по сварке листов в цельное полотно выполнили специалисты киевского Института электросварки имени Патона. Суммарная длина швов составила около 30 км.



- 1 Монумент Вашингтона, Вашингтон, США.
- 2 Монумент Победы – обелиск на площади Победителей в Парке Победы на Поклонной Горе (Москва).
- 3 Усику Дайбуцу (яп. 牛久大仏, в пер. Дайбуцу обозначает Большой Будда) – статуя Будды Амитабхи в японском городе Усику.
- 4 Монумент-скульптура «Родина-мать» в Киеве.
- 5 Памятник «В ознаменование 300-летия российского флота» в Москве.
- 6 Статуя Свободы (англ. Statue of Liberty) в Нью-Йорке, США.
- 7 Скульптура «Родина-мать зовёт!» – центр памятника-ансамбля «Героям Сталинградской битвы» на Мамаевом кургане в Волгограде.
- 8 Монумент «Рабочий и колхозница» в Москве.
- 9 Статуя Христа-Искупителя (порт. Cristo Redentor) - на вершине горы Корковаду в Рио-де-Жанейро.

Рис. 1.14 Наиболее известные современные отечественные и зарубежные технически сложные монументы (скульптуры) в порядке убывания высотности





Рис. 1.15 Стальная обшивка монумента

Внутри монумента специально для технических целей смонтированы два лифта. Один вертикальный, другой наклонный, который движется на катках под углом 75 градусов. Один из лифтов поднимается с девятью остановками до самой головы «Родины-матери», в которой есть люки и технические площадки. Можно подняться в «руку» со щитом и в другую – с мечом. Внутри скульптуры предусмотрены смотровые площадки [79].

На [рисунке 1.16](#) показана схема основных конструкций монумента.

- Историческая справка.

Работу над проектом возведения в Киеве монумента «Родина-мать» начинал скульптор, автор мемориала в Сталинграде – Евгений Вучетич. Первоначально предполагалось, что на постаменте будет возвышаться 80-метровая бронзовая с позолотой фигура женщины. У подножия статуи с 30-метровой высоты должен был течь в Днепр водопад, с обеих сторон которого воины форсировали реку.

Согласно исходному плану монумент хотели покрыть сусальным золотом. Эту идею не удалось воплотить в жизнь, так как в 1974 году Вучетич умер. Заказ должен был перейти к знаменитому московскому скульптору Николаю Томскому, однако он отказался. Работу над монументом продолжил Василий Бородай, возглавивший команду, в которую вошли скульпторы Фрид Сагоян, Василий Винайкин, а также архитекторы Виктор Елизаров, Георгий Кислый, Николай Фещенко. В изначальный проект было внесено множество изменений. Например, по замыслу Вучетича статуя как бы «вырастала» из металлической

стелы на уровне груди. В современном варианте, как известно, Родина-мать представлена в полный рост. Вучетич намечал сделать главный вход в комплекс со стороны набережной Днепра. Пройдя аллею с фигурами солдат и партизан, посетители попадали в специальный тоннель, где показывались наиболее трагические страницы войны – концентрационные лагеря и массовые расстрелы. Однако, в действительности основной вход сделан со стороны Лавры. Так называемый «тоннель ужасов» сооружать не стали.

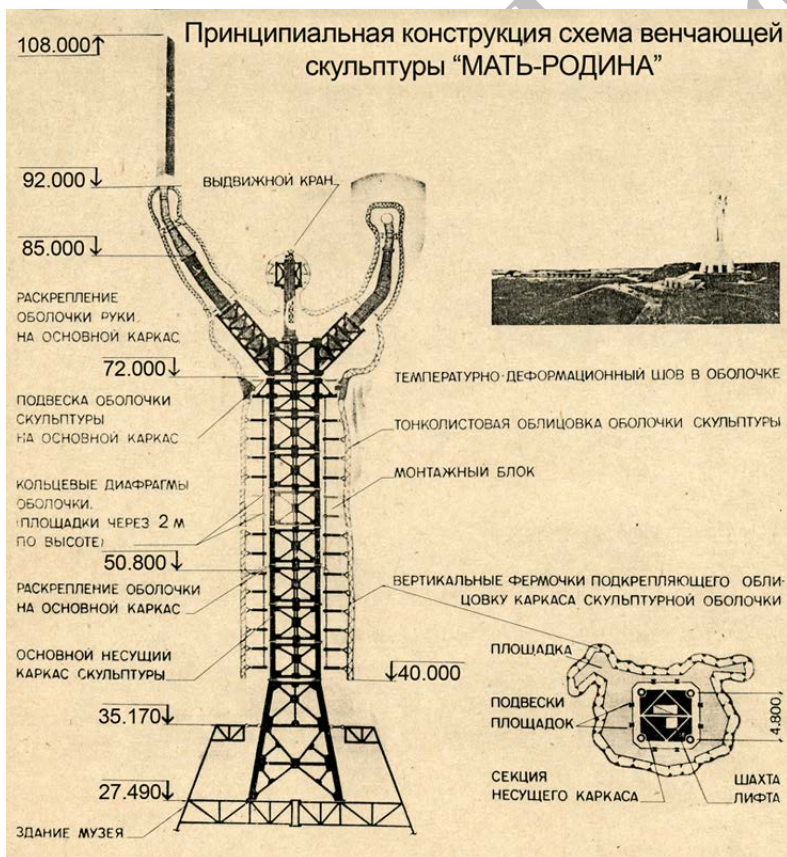


Рис. 1.16 Принципиальная конструктивная схема монумента Родина-мать



Были предложения сделать монумент менее воинственным – например, вместо меча дать женщине в руки чашу с вечным огнем. Но в итоге сделали так, как намечал Вучетич: щит – в одной руке, меч – в другой. Саму скульптуру изготовили на Киевском заводе имени Парижской Коммуны. Для того чтобы собрать скульптуру воедино, потребовался специальный стометровый кран. По официальной версии его выплавляли в нестандартной домне на Донбассе, а по неофициальной – заказали у японской фирмы «КАТО». После монтажных работ кран демонтировали.

Однако существует еще одна версия, будто бы, поскольку рабочие успевали полностью демонтировать кран до приезда высшего начальства, его просто порезали автогенем и сбросили в Днепр. Необходимо отметить, что монумент Родина-мать стал первой скульптурой подобных размеров в СССР. На сегодняшний день это самая большая скульптура в Украине, она внесена в современную «Книгу рекордов Украины».

Монумент «Родина-мать» был открыт в 1981 году в День Победы. По расчетам, статуя может выдержать даже землетрясение силой 9 баллов [79].

- Выявленные или возможные проблемы.

Основным фактором, угрожающим дальнейшей жизни данного объекта, является коррозия металла под воздействием окружающей среды.

- Возможные пути решения проблем.

Для контроля над состоянием всех строительных конструкций установлен строгий режим геодезических инструментальных обследований. Регулярные ежегодные обследования показывают отсутствие каких-либо отклонений. Согласно выводам специалистов, монумент «Родина-мать» должен простоять свыше 150 лет. Необходимо продолжать обследования и при необходимости проводить противокоррозионные работы.

*Останкинская телебашня.*

- Основные характеристики.

- 8-е в мире по высоте свободно стоящее сооружение.
- Местонахождение – Москва.
- Строительство – 1963-1967 гг.
- Высота – 540 м. Антенна / Шпиль.

- Архитектор – Н. В. Никитин.
- Тип – железобетонная башня.
- Масса башни вместе с фундаментом – 55 000 тонн.

- Конструктивно-технологическая схема (инженерное решение).

Останкинская башня (рис. 1.17), вес которой более 32 тысяч тонн, возведена на монолитном кольцевом железобетонном фундаменте шириной 9,5 метра, высотой 3 метра и диаметром (описанной окружности) 74 метра. В десятиугольной железобетонной ленте фундамента с помощью системы кольцевой напряженной арматуры (она состоит из 104 пучков, в каждом пучке по 24 проволоки диаметром 5 миллиметров каждая) создано предварительное напряжение. Каждый пучок натянут гидравлическими домкратами с силой около 60 тонн.

Фундамент заложен в грунт на глубину 4,65 метра. Предполагается, что он может осесть на величину до 3,5 сантиметров. Устойчивость башни на опрокидывание имеет шестикратный запас.



Рис. 1.17 Останкинская телебашня

Железобетонная опора всего сооружения – это тонкостенная коническая оболочка, опирающаяся десятью железобетонными “ногами” на банкетки фундамента. Диаметр нижнего основания этой оболочки – 60,6 метра, а на высоте 63 метров он равен 18 метрам. Верхняя часть железобетонного ствола, начиная с высоты 321 метр, выполнена в виде цилиндра с наружным диаметром 8,1 метра. Толщина стен у основания башни – 500 миллиметров (табл. 1.3).

В центре конического основания на самостоятельном фундаменте (круглая железобетонная плита диаметром 12 метров и толщиной 1 метр) возведен железобетонный стакан высотой 63 метра и диаметром 7,5 метра. В этом ста-

кане проходят скоростные лифты, силовые кабели, кабели связи, шахта с водопроводными и канализационными стояками и аварийная стальная лестница. На стакан опираются концы балок пятнадцати междуэтажных перекрытий, между стаканом и конусным основанием проходит лестничная клетка. Сооружение отдельных фундаментов для двух независимых конструкций – башни и стакана – позволяет передать на грунт различное давление при их неравномерной осадке.

Таблица 1.3

Основные параметры Останкинской телебашни

№	Параметр	Данные
1	2	3
1	Высота сооружения	540м
2	Общая высота нижнего конического основания башни	63м
3	Высота железобетонного предварительно-напряженного ствола сооружения	385,5м
4	Общая масса телебашни с фундаментом	51 400т
5	Масса конструкций телебашни без фундамента	32 000т
6	Ширина подошвы плиты главного кольцевого фундамента телебашни	9,5м
7	Глубина заложения подошвы главного фундамента	3,5-4,6м
8	Нижнее коническое основание сооружения опирается на	10 опор
9	Средний диаметр между опорами-ногами	60м
10	Толщина опор телебашни в нижнем сечении	0,5-1м
11	Диаметр железобетонного ствола башни на высоте 63 м	18м
12	Диаметр железобетонного ствола в верхней зоне сооружения между отметками 311 и 385,5 м	8,2м
13	Железобетонный ствол сооружения выполнен из предварительно-напряженного железобетона марки	400
14	Кольцевые сечения ствола башни обжаты канатами в количестве	149

Под действием ветровой нагрузки верхняя часть башни может колебаться, и отклонение ее вершины при сильном ветре может достигнуть 10 метров. При этом конструкция башни такова, что посетители смотровых площадок и ресторана могут ощущать колебания башни приблизительно так же, как качку корабля с амплитудой 8 сантиметров при периоде колебаний в 10 секунд.

Еще одним врагом башни является солнечное воздействие. Из-за одностороннего нагрева ствол перемещается (от искривления) у вершины на 2,25 метра, на уровне смотровых площадок – на 0,72 метра. Для уменьшения деформаций от ветровых нагрузок и от одностороннего нагрева на расстоянии 50 миллиметров от внутренней поверхности ствола натянуто 150 стальных тросов. Общее усилие их натяжения равно 10400 тоннам. Тросы принимают на себя растягивающие усилия и предохраняют бетон от трещин, а, следовательно, арматуру – от коррозии.

На железобетонной части башни установлено несколько металлических антенн общей высотой в 148 метров. Антенны выполнены в виде стальных труб. Внутри труб имеются жесткие диафрагмы. Для обслуживания антенн до высоты 470 метров используется специальный лифт. Чтобы осматривать и демонтировать вибраторы, а также периодически красить стальные конструкции антенн, устанавливаются 6 площадок с перилами и подвешиваются люльки [72].

- Пожар в Останкинской телевизионной башне.

27 августа 2000 года в Телецентре Останкино вспыхнул пожар (рис. 1.18). Начав тушение пожара в 15.45, сорока бригадам пожарных удалось остановить движение огня вниз по башне лишь к 12-ти часам дня 28 августа, пожар был полностью ликвидирован в 17.00. Пожару была присвоена пятая категория сложности по пятибалльной шкале.

Начальник управления государственной противопожарной службы ГУВД Москвы Леонид Коротчик заявил на пресс-конференции 30 августа 2000 года, что башня была «рассчитана на значительно меньшую нагрузку, чем та, которой она подвергалась в последние годы». Кроме того, электроэнергию не отключали более трех часов, что значительно затрудняло работу пожарных. Все так, но, по правде говоря, башня просто не была оборудована современными системами пожаротушения, а потому подобная катастрофа была едва ли не закономерной. В мае 2000 года на башне в последний раз побывали пожарные инспекторы. Они обнаружили 38 недостатков, которые было предписано устранить в срочном порядке. До момента пожара удалось исправить только 16 из них. Необходимы были коренные изменения, которые будут учтены в процессе реконструкции Останкинской башни [84]. В свое время экскурсоводы с гордостью рассказывали посетителям, что это уникальное сооружение прочно стоит

на земле благодаря стальным тросам, стягивающим бетонные кольца ([рис. 1.19](#)). В результате пожара из 149 таких тросов осталось всего 19 ([рис. 1.20](#)). Тем не менее, башня устояла.



*Рис. 1.18 Пожар в Останкинской телевизионной башне*

Существовали диаметрально противоположные взгляды на то, насколько сильно во время пожара пострадала Останкинская башня, и на то, что с ней следовало делать. Причем во взглядах расходились именно те люди, которые в шестидесятые годы ее строили. Бывший главный специалист группы строителей железобетонного ствола, начальник проектного отдела ОАО «Спецжелезобетонстрой» Давид Рабунский утверждал, что «сама башня, железобетонный ствол может стоять самостоятельно, без канатов, так как они предназначались в основном для долговечности». А вот бывший начальник отдела новых строительных конструкций Главстроя СССР Юрий Афанасьев утверждал:

«Если бетон уже начал трескаться, ведь постоянная амплитуда колебания шпиля 3 метра, то главное, что должно сейчас волновать специалистов, – как аккуратно разобрать башню, не допустив ее падения. Дело в том, что при температуре свыше 400 градусов связь металла с бетоном теряется, это приводит к образованию тех самых трещин, из-за которых железобетон уже не работает как цельная конструкция. Свою разрушительную лепту начинает вносить и коррозия арматуры. Трудно сказать, но пожарные говорили, что в некоторых местах температура горения достигала 1500 градусов». Однако это не повлияло на устойчивость и жизнеспособность башни, более того, как сообщил на засе-

дании коллегии Госстроя РФ главный инженер Государственного института телерадиовещания Александр Демьянов, «при восстановлении Останкинской башни предполагается нарастить стальные конструкции с 540 до 562 метров».

- Возможные пути решения проблем.

Для модернизации комплекса Останкинской телебашни был разработан проект реконструкции. Он включает в себя работы по восстановлению опорных конструкций (стилобата), мероприятия по повышению пожарной безопасности, реконструкцию технологических, электрических и санитарных коммуникаций. Анализ данного проекта приведён в [подразделе 3.1](#).

#### *Шуховская радиобашня.*

- Основные характеристики.
  - Местонахождение – Москва.
  - Строительство – 1919-1922 гг.
  - Высота – 160 м.
  - Общий вес сооружения – 240 т.
  - Архитектор – Шухов В. Г.
- Конструктивно-технологическая схема (инженерное решение).

Шаболовская радиомачта «Башня Шухова» является круглым в плане сооружением с диаметром основания 37,37 м. ([табл.1.4](#)). Конструкция башни представляет собой уникальную конструкцию, выполненную в виде несущей стальной сетчатой оболочки. По форме секции башни – это однополостные гиперboloиды вращения, сделанные из прямых балок, упирающихся

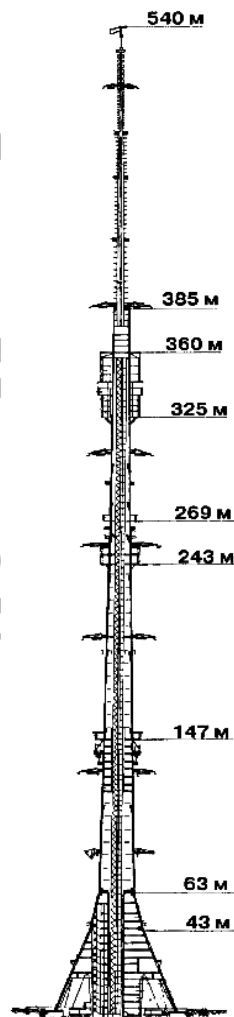


Рис. 1.19 Вертикальный разрез останкинской телебашни

конусный корпус башни состоит из 6 секций высотой 25 метров каждая, и 7-й, «антенной», секции (рис. 1.21). Нижняя секция установлена на бетонном фундаменте диаметром 40 метров и глубиной 3 метра. Элементы башни скреплены на заклёпках [83].

- Историческая справка.

Первый проект башни на Шаболовке был разработан В. Г. Шуховым в 1919 году с расчётной высотой 350 метров.



Рис. 1.20 Провисшие тросы на внутренней поверхности ствола

Из-за дефицита металла во время гражданской войны проектная разработка была реализована по второму проекту в виде конструкции высотой 148,3 метра. 14 марта 1920 года началось строительство радиобашни на Шаболовке. Работа по возведению конструкции неоднократно прерывалась из-за отсутствия материалов.

При подъёме четвёртой секции произошла авария. Из дневника В. Г. Шухова: «29 июня 1921 года. При подъёме четвертой секции третья сломалась. Четвёртая упала и повредила вторую и первую в семь часов вечера».

В начале марта 1922 года монтаж несущих конструкций был завершён. 19 марта 1922 года началась трансляция радиопередач с уникальной антенной башни [84].

Таблица 1.4

Основные конструктивные решения башни

Секции	Отметка опорного кольца, мм.		Длина секции, мм.	Диаметр опорного кольца, мм.	
	Основания секции	Верха секции		Основания секции	Верха секции
1	0,000	24,280	24,28	40000	33080
2	24,280	49,470	25,19	33080	25590
3	49,470	74,610	25,14	25590	18605
4	74,610	99,550	24,94	18605	13145
5	99,550	122,750	23,2	13145	7610
6	124,580	142,070	17,49	7105	3331
7	143,360	155,360	12	5770	5770





Рис. 1.21 Конструкция Шуховской башни

С установкой двух траверс и флагштока высота радиобашни достигла 160 метров. Высота основания над уровнем моря – 131 метр.

Строительство башни велось без лесов и подъемных кранов. Верхние секции по очереди собирались внутри нижней и при помощи блоков и лебедок поднимались друг на друга. За свою длительную историю радиобашня Шухова служила опорой для антенн крупных радио- и телевизионных станций. Радиобашня Шухова отнесена к объектам культурного наследия регионального значения.

Всего три раза, в 1949, 1950 и 1964 годах, была произведена противокоррозийная окраска элементов башни. Попытка реставрации башни в 1973 году с целью придать ей дополнительную прочность с помощью сварных элементов, закреплённых на уголках болтами к клёпанной несущей сетке-оболочке, компетентными международными экспертами признаётся как варварство по отношению к уникальной конструкции. Во время усиления элементов башни был нарушен основной принцип, заложенный Шуховым при её проектировании – определённая доля подвижности и самокомпенсации по отношению к внешним



нагрузкам. Подвижное основание было забетонировано, что нарушило в каком-то смысле кинематическую схему конструкции.

Башня нуждается в комплексной экспертизе коррозии металлоконструкций и современной системе антикоррозионной защиты, включающей непрерывный электронный контроль текущего состояния. В 2003 году было принято Постановление Государственной Думы РФ № 4415-III по наследию В. Г. Шухова, в котором, в частности, говорится: «Особенно важным представляется сохранение инженерных сооружений, построенных по проектам В. Г. Шухова в Москве и других городах России, и принятие для этого необходимых мер».

- Выявленные или возможные проблемы.

Среди наиболее явных проблем эксплуатации Шуховской башни наиболее существенными являются:

- Нарушение подвижности узлов соединения элементов башни вследствие некачественного ремонта.
- Заделка опорных узлов башни в бетонный ростверк, что привело к потере проектной подвижности.
- Коррозионная поврежденность несущих металлоконструкций.
- Отсутствие механизмов регулярного мониторинга башни.

В результате в настоящее время состояние башни определено как аварийное.

- Возможные пути решения проблем.

Для решения указанных выше проблем прежде всего необходимо разработать и осуществить комплекс противоаварийных мероприятий, заключающийся в снятии части нагрузки с несущих конструкций путём «вывешивания» радиобашни на временные несущие конструкции. Только после этого следует провести реконструкцию. Её основные этапы должны заключаться в восстановлении несущей способности и коррозионной стойкости элементов металлоконструкций башни, замене непригодных к восстановлению элементов и установке системы компьютерного мониторинга за состоянием радиобашни. Это позволит избежать угрозы повторного наступления аварийного состояния.

Большое количество высотных инженерных сооружений в Украине и за её пределами, значительная степень износа большинства из них, необходимость

индивидуального подхода к реконструкции для большей части таких сооружений, высокая стоимость восстановления и отсутствие нормативных документов по выбору оптимальных организационно-технологических решений определило необходимость исследований, изложенных ниже.

## 1.2 Анализ способов моделирования процессов реконструкции

Для любой задачи управления строительным производством характерна множественность ее решений. Кроме того, постоянное усложнение техники и технологии строительного производства и связанное с ним усложнение процесса управления, делают выбор оптимального решения чрезвычайно трудным.

Выход из этого положения при решении многих проблем управления строительным производством состоит в применении различных моделей в основных сферах и звеньях управления строительством и реконструкцией.

Модель представляет собой абстрактное отображение наиболее существенных характеристик, процессов и взаимосвязей реальных систем [2, 5, 24, 25]. Модель в широком понятии – это условный образ объекта, сконструированный для упрощения его исследования [38].

По свойствам модели можно судить о наиболее существенных свойствах объекта, которые аналогичны и в модели, и в объекте, и являются основными для исследований и решений определенного круга задач. К моделям предъявляются достаточно противоречивые требования – простоты и адекватности [6].

В традиционном организационно-технологическом проектировании основными моделями служат линейные графики, циклограммы (являющиеся, по сути, их разновидностью) и сетевые графики [1, 7, 27, 28, 29, 41, 51]. Эти модели служат основой для разработки календарных планов реконструкции объектов. К календарным планам (КП) относят все документы по планированию, в которых на основании объемов строительно-монтажных работ и принятых организационных и технологических решений определены сроки и последовательность осуществления реконструкции. Календарные планы являются основными документами, входящими в состав ПОС и ППР. В соответствии с календарными планами реконструкции разрабатываются календарные планы обеспечения – график потребности в рабочих кадрах и материально-технических ресурсах [24, 25, 43].

Календарный план реконструкции объекта предназначен для определения последовательности и сроков выполнения общестроительных, специальных и монтажных работ. Эти сроки устанавливаются в результате рациональной увязки сроков выполнения отдельных видов работ, учета состава и количества основных ресурсов, в первую очередь рабочих бригад и ведущих механизмов, а также специфических условий района строительства [39, 40, 48, 54, 67].

По календарному плану рассчитывают потребность в трудовых и материальных ресурсах во времени, а также сроки поставок всех видов оборудования. Эти расчеты можно выполнять как по объекту в целом, так и по отдельным периодам строительства. На основе КП ведут контроль над ходом работ и координируют работу исполнителей.

Наиболее простой моделью, которая используется при составлении КП, является *линейный график*.

Несомненными достоинствами линейных графиков является простота их исполнения и наглядный показ хода работ. Однако, здесь динамическая система строительства представлена статической моделью. Она, в лучшем случае, может только отобразить положение на объекте, сложившееся в какой-то определенный момент. Кроме того, линейный график не всегда может отобразить сложность моделируемых в нем процессов.

Основные недостатки линейных графиков следующие:

1. Зависимость между работами, положенная в основу графика, выявляется составителем только один раз в процессе работы над графиком и фиксируется как неизменная, статическая модель. В результате такого подхода заложенные в графике технологические и организационные решения принимаются обычно как постоянные. В процессе строительства часто возникают изменения по сравнению с составленной моделью.
2. Внесение изменений в линейную модель – очень трудоемкий процесс. Традиционный способ построения линейных моделей вручную или с применением простейших компьютерных программ типа Microsoft Excel затрудняет введение оперативных изменений в линейную модель. В связи с этим, такие изменения, как правило, не вносятся. Поэтому линейные модели теряют свое практическое значение вскоре после начала их реализации.

3. Невозможность оперативного многократного пересоставления линейных графиков в процессе производства работ вследствие трудоёмкости их корректировки. Хроническая нехватка времени у линейных руководителей строительства приводит к тому, что такие графики во время строительства, в лучшем случае, играют роль картин на стенах прорабской.
4. Сложность вариантной проработки и ограниченная возможность прогнозирования хода работ. Это осложняет выбор правильных управленческих решений.

Перечисленные недостатки снижают эффективность процесса управления при использовании линейных моделей, построенных традиционным способом.

Разновидностью линейных графиков являются так называемые *циклограммы*, предложенные проф. М. С. Будниковым в 30-е годы прошлого столетия [4, 9, 47]. Традиционно на стандартном линейном графике для каждой специализированной бригады потока выделяется горизонтальная полоса, а продолжительность ее работы на разных захватках показывается смещением отрезков относительно друг друга. Но если соединить пунктирной линией точки начала работы каждой бригады по захваткам, то мы получим наклонные линии, каждая пара которых ограничивает определенную захватку. Этот график и называют циклограммой.

Циклограмма, в отличие от первой описанной модели, отображает не только технологическую последовательность и сроки, но и место производства работ. В циклограмме сохраняется календарная шкала линейного графика, но вертикальная полоса выделяется для захваток (частных фронтов) в порядке их номеров снизу вверх или сверху вниз.

На оси ординат циклограммы откладываются в определенном масштабе отрезки, соответствующие частным фронтам работ в порядке освоения, а на оси абсцисс – принятые единицы времени. Ход и сроки выполнения каждой работы показывают наклонной линией, начало которой соответствует моменту начала, а конец – моменту окончания работы на частном фронте. Такое отображение на графике работы каждой бригады как бы показывает движение их по фронту работ и переход с одной захватки на другую. Но при правильной организации работ в каждый определенный момент времени на одном частном фронте может выполняться только одна работа.

На циклограмме наглядно изображается развитие строительного процесса во времени и пространстве. Циклограммы наиболее удобны при возведении однотипных зданий и сооружений. При этом за единицу продукции чаще всего принимается участок или захватка.

При реконструкции нетиповых объектов, например, высотных инженерных сооружений, отличающихся сложными взаимосвязями работ, наглядность циклограмм существенно снижается, и пользоваться ими становится неудобно.

Возможность отображения на циклограммах захваток (частных фронтов) и порядка выполнения на них работ является важным преимуществом циклограмм перед линейными графиками, поэтому их широко применяют на практике при поточной организации работ.

Недостатки циклограмм следующие:

1. Циклограмма не содержит характеристик работ.
2. На ней отображаются только основные работы.
3. При построении циклограммы учитываются связи между работами, но в явном виде они не показываются.

Самыми главными недостатками традиционных линейных моделей и циклограмм (по сравнению с сетевой моделью, которая рассмотрена ниже) является отсутствие четких временных взаимосвязей между работами, невозможность определить наличие и величину запасов по времени при выполнении тех или иных видов работ, невозможность построения так называемого критического пути.

*Сетевые модели* [23, 53, 56, 61, 65] позволяют лучше всего отобразить порядок возведения сложного объекта, внедрять научно обоснованные методы строительства, определять и разрешать многие проблемные ситуации, возникающие в процессе производства работ по реконструкции [32]. Сетевая модель свободна от многих недостатков, присущих линейным графикам и циклограммам. Однако применение сетевых графиков не означает, что тем самым исключается использование других моделей. Все эти модели взаимно дополняют друг друга и применяются там, где они наиболее целесообразны.

Отличительными особенностями сетевых графиков от традиционных линейных графиков и циклограмм являются:

- наличие взаимосвязей между работами и технологической последовательностью их выполнения;
- возможность выявления критического пути, т.е. работ, от сроков завершения которых зависит продолжительность строительства или реконструкции объекта;
- наличие рассчитываемых запасов по времени начала и завершения работ, не лежащих на критическом пути;
- возможность выбора вариантов последовательности и продолжительности работ за счет указанных запасов по времени.

Сетевые графики (модели производства работ) изначально предназначены для сооружения сложных военных, космических, промышленных и других комплексов, где участвуют многие организации [35, 57]. Причем сетевые графики позволяют учитывать все работы, от которых зависит успешный ход строительства, в т. ч. проектирование, внешние поставки материалов и оборудования. Сетевые графики могут использоваться для решения задач перспективного планирования, точного определения продолжительности по критическому пути и сроков выполнения основных этапов создания объектов. Критическим путем называют полный путь, имеющий наибольшую длину (продолжительность) из всех полных путей. Его длина определяет срок выполнения работ по сетевому графику. Работы, лежащие на критическом пути, называют критическими. Увеличение продолжительности критических работ соответственно увеличивает общую продолжительность работ по сетевому графику, а сокращение приводит к некоторому уменьшению.

Уровень детализации сетевых моделей (графиков) зависит от сложности строящихся объектов, группировки и количества используемых ресурсов, объемов работ и периода строительства [66].

Несмотря на свои достоинства, сетевые модели также обладают рядом недостатков, главным среди которых является высокая сложность и трудоемкость составления сетевых моделей традиционными методами. При построении сетевых моделей в классическом безмасштабном виде отсутствует наглядность выполнения работ во времени, а также невозможно графически показать потребность в трудовых и материальных ресурсах.

Рассмотренные модели строительных процессов несовершенны. Главным недостатком рассмотренных типов моделей является сложность их постро-

ения, особенно в случае, когда необходимо построить и сравнить несколько вариантов проведения работ по реконструкции. Для снижения трудоёмкости построения и достижения высокой степени визуализации моделей были разработаны компьютерные программные средства по управлению проектами. Их можно использовать при построении моделей строительного производства, в частности, при моделировании проектов реконструкции.

Программных продуктов для управления проектами существует великое множество. Причем это продукты как западного, так и российского производства. В работе рассмотрены:

- Primavera Systems, Inc (Oracle, США);
- Spider Project (Россия);
- HP Project Portfolio Management Center PPM (США);
- Basecamp (США);
- Open Proj (США);
- Gantt Project (США);
- Галактика «Управление проектами» (Россия);
- Microsoft Office Project (США).

Ниже приведен анализ возможности их использования для моделирования реконструкции высотных инженерных сооружений.

Прежде всего, следует отметить, что все эти программные продукты позволяют моделировать проекты строительства или реконструкции с наглядностью линейных моделей и точностью сетевых. Для этого используются такие функции, как: расчёт критического пути и резервов времени, чёткая взаимосвязь между отдельными событиями и т. п.

*Программный продукт Primavera Systems, Inc.* Специализированное программное обеспечение фирмы Primavera Systems, Inc. для управления проектами появилось на рынке США в 1983 г. Это был программный продукт Primavera Project Planner (аббревиатура P3). Он изначально разрабатывался для управления стратегическими проектами и непрерывно развивался на протяжении многих лет. Данный продукт получил широкое распространение во многих странах и отраслях. Дальнейшим его развитием стал однопользовательский программный продукт Primavera Sure Trak. Он интересен тем, что стал первым программным продуктом Primavera, переведенным на русский язык в 1994 г.

В 2005 г. перед выпуском версии компания объявила об унификации названий всех многочисленных программных модулей. Теперь профессиональное программное обеспечение для управления проектами называется просто – Primavera.

Компания продолжает разрабатывать и совершенствовать специализированное программное обеспечение для управления проектами. Primavera – это мощное и надежное средство для планирования, исполнения и управления проектами. Продукт позволяет управлять проектами любого размера и любой сложности, в т. ч. и строительными, и предлагает неограниченное количество ресурсов без ограничений на количество составляемых планов. Сегодня Primavera – практически стандарт в области программного обеспечения для управления проектами в западных странах. Возможности программного комплекса безусловно позволяют выполнять моделирование процессов реконструкции высотных инженерных сооружений.

Однако, использование данного продукта далеко не всегда целесообразно в условиях украинского строительного рынка. Причины этого – высокая стоимость, трудоёмкость и сложность освоения программы. Это может привести к необходимости привлечения дополнительных специалистов по управлению проектами.

*Spider Project (Россия).* В последние годы широкое распространение на рынке программ для управления проектами получила российская разработка – программный комплекс Spider Project. Первая версия продукта вышла в 1992 году. С тех пор продукт непрерывно развивается, в процессе расширения его функциональных возможностей учитываются особенности и потребности рынка постсоветских стран. Методология, положенная в основу Spider Project, имеет целый ряд особенностей по сравнению с традиционными подходами к управлению проектами. В связи с этим, возможности продукта Spider Project во многом отличаются от того, что предлагается западными поставщиками программных продуктов в области управления проектами.

Программное обеспечение Spider Project предназначено для различных групп пользователей. В его составе имеется профессиональная система Spider Project Professional, а также более дешевые версии Desktop (однопользовательский вариант профессиональной системы) и Lite (вариант с ограниченными функциональными возможностями).



Достоинства продукта Spider Project, выгодно отличающие его от многих аналогов:

1. Возможность планирования сроков исполнения работ исходя из их физических объемов. Эта функция программы особенно актуальна при моделировании процессов строительства. В рассмотренном выше программном комплексе Primavera понятие «объем работ» отсутствует.
2. Возможность использования в проектах любых дополнительных характеристик работ, ресурсов и назначений, что также очень удобно при моделировании процессов строительства и реконструкции.
3. Широкие возможности стоимостного и ресурсного анализа проектов. В одном проекте можно параллельно вести анализ затрат в различных единицах и при разных нормативных базах.
4. Встроенная система учета, позволяющая не только корректировать длительности и объемы работ, но и получать отчеты по исполнению проекта в любых разрезах и за любой промежуток времени.
5. Встроенное руководство по управлению проектами, полностью охватывающее международные стандарты и учитывающее специфику управления проектами в постсоветских странах.

На наш взгляд, данный программный комплекс применим и будет удобен для моделирования процессов реконструкции высотных инженерных сооружений. Продукт пока не получил такого широкого распространения, как его западные аналоги (Primavera и разработки компании Microsoft). Но, безусловно, является перспективным средством для построения моделей строительных процессов.

Инструмент компании Hewlett-Packard называется *HP Project Portfolio Management Center PPM*. Он позволяет определять наиболее важные проекты организации, использовать планирование «сверху-вниз», на основе разработанных подробных планов «снизу-вверх», отслеживать выполнение проекта и следить за реализацией портфеля в целом, вовремя вносить корректировки и др.

*Basecamp* – это онлайн-инструмент для управления проектами, совместной работы и постановки задач по проектам, созданный компанией 37signals. Basecamp предоставляет пользователям следующие возможности:

- смена цветовой гаммы и логотипа системы;
- просмотр общей информации о клиентах и проектах на одном экране;
- назначение и отслеживание задач;
- загрузка, категоризация и отслеживание версий файлов;
- форумы для обсуждения задач и проектов;
- ведение расписания и управление ключевыми точками проекта;
- отслеживание потраченного времени;
- получение основной информации о проекте на одном экране;
- добавление сообщений и комментариев.

Basecamp совместим со многими приложениями, виджетами и другими программами. Несмотря на широкую популярность, Basecamp считается недостаточно приспособленным для ведения сложных и долговременных проектов, а также для использования в больших компаниях.

*Open Proj* – программное обеспечение для управления проектами с возможностью работы в различных операционных системах. Распространяется на условиях лицензии Common Public Attribution License Version 1.0 (CPAL). Позиционируется создателями как открытая замена коммерческому продукту Microsoft Project. Доступна для операционных систем Microsoft Windows, Linux, Unix, Mac OS X.

*Gantt Project* – программа, предназначенная для планирования проектов на основе построения диаграмм Ганта и диаграмм типа PERT. Поддерживается импорт/экспорт документов Microsoft Project. Программа разработана на языке Java. Распространяется на условиях GNU General Public License. Поддерживает вывод отчетов в различных форматах, включая HTML и PDF.

*Галактика «Управление проектами»* – это система для автоматизации планирования и управления проектными работами, включая:

- ведение структуры портфеля проектов, состава работ;
- управление трудовыми ресурсами и мощностями предприятия, материалами;
- планирование, учет и контроль выполнения проектов;
- мониторинг ключевых показателей проекта.

*Microsoft Office Project*. Первая коммерческая версия продукта вышла в продажу в 1985 году и с тех пор многие годы программа по числу проданных

копий является наиболее распространенным в мире средством для управления проектами. Основной причиной этого является широкая область применения программы, передовые инновации, внедряемые в каждой новой версии продукта.

Традиционно продукт доступен в двух версиях. Это – Standart (однопользовательская версия) и Professional (корпоративная версия).

Использование Microsoft Project позволяет:

- составлять план производства работ, который включает в себя сроки исполнения работ, потребность в ресурсах (люди, механизмы, материалы, финансы и др.);
- рассчитывать бюджет проекта и распределять запланированные затраты по времени;
- рассчитывать во времени потребности проекта в ресурсах;
- разрабатывать оптимальную схему финансирования работ, поставок материалов и оборудования;
- анализировать риски;
- определять резервы времени;
- эффективно контролировать исполнение составленного плана;
- анализировать отклонения фактического хода выполнения работ от запланированного, своевременно и обоснованно корректировать плановые показатели;
- моделировать любые решения, например, о замене одних механизмов на другие, изменение схемы финансирования, изменение схемы поставок оборудования и др., а также анализировать их последствия для проекта на модели и принимать обоснованные управленческие решения.

Данный продукт обладает рядом неоспоримых достоинств, которые и сделали его таким популярным в среде управления проектами. Основные преимущества продукта:

1. Интуитивно понятный интерфейс и простота в освоении.
2. Гибкость в настройке программы под конкретные нужды.
3. Простой и эффективный анализ графиков и управление ими.

4. Интерактивный помощник пошагового планирования, который позволяет быстро освоить процессы управления проектами.
5. Возможность отслеживания хода выполнения проекта на всех этапах его жизненного цикла.
6. Богатый набор встроенных справочных материалов, предназначенных как для новичков, так и для специалистов по управлению проектами.

Microsoft Project прост в использовании, удобен и обладает полным набором инструментов, необходимых для решения задач, связанных с моделированием процессов строительства и реконструкции высотных инженерных сооружений. Поэтому для проведения исследований, связанных с оптимизацией организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений, рекомендуется использовать именно этот программный продукт.

### **1.3 Анализ возможных методов математического моделирования для оптимизации проектов реконструкции**

Строительный проект (в частности, проект реконструкции), как любая хозяйственная задача, требует определённой оптимизации в ходе его планирования и реализации. Несомненно, большим преимуществом оптимизации на стадии планирования проектов является то, что при этом можно широко использовать математические методы моделирования. Данный подход предполагает формализацию критериев оптимизации, а также изменяющихся факторов, влияющих на рассматриваемые критерии. Это позволяет в ходе оптимизации добиваться количественно обоснованных результатов. В случае моделирования проектов реконструкции сложных инженерных сооружений, каковыми являются башни и другие высотные сооружения, это приводит к экономии денежных, трудовых ресурсов и времени. Среди наиболее распространённых можно выделить следующие методы математического моделирования и оптимизации решений:

- линейное программирование и его варианты;
- оптимизация с помощью теории графов;
- оптимизация комбинаторным методом;

- нелинейное программирование;
- динамическое программирование;
- экспериментально-статистическое моделирование и др.

*Линейное программирование* заключается в построении системы линейных уравнений или неравенств, с заданной точностью описывающих исследуемые процессы [58]. Решение (или совокупность решений) системы уравнений или неравенств позволяет с помощью математических методов, либо с помощью экспертной оценки принять обоснованное управленческое решение. Однако, линейные уравнения не всегда адекватно описывают такой сложный и зависящий от множества факторов процесс, как строительное производство. Кроме того, формализовать строительное производство в виде системы уравнений не всегда представляется возможным по причине отсутствия количественных механизмов зависимости критериев оптимизации от исследуемых факторов.

*Теория графов* рассматривает любой исследуемый процесс в виде его графического представления – графа. Граф представляет собой совокупность вершин и рёбер, где рёбрами обозначены процессы, а вершинами – события или вехи [59]. В виде графа представляют сетевые модели, подробно рассмотренные в [подразделе 1.2](#). Сетевые модели позволяют оптимизировать строительный процесс по различным критериям: времени, потреблению трудовых, денежных и материальных ресурсов. Однако, построение сетевой модели чрезвычайно трудоёмко, оптимизировать её по нескольким критериям одновременно сложно. К недостаткам сетевых моделей можно отнести низкую возможность к сравнению различных вариантов, в том числе, с помощью графического анализа.

*Комбинаторный метод* предполагает построение вариантов моделей производственных процессов и их прямой перебор [26]. Комбинаторный метод чрезвычайно трудоёмок: он требует не только построения достаточно сложных моделей, какими являются модели строительного производства, но и большого количества этих моделей, так как перебор зачастую ведётся «вслепую» без заранее утверждённого плана.

*Нелинейное программирование* отличается от линейного более высокой степенью рассматриваемых уравнений или неравенств. Таким образом, нелинейное программирование позволяет решать задачи более сложного уровня, чем линейное [58]. Однако другие недостатки линейного программирования,

рассмотренные выше, остаются и в случае применения нелинейного программирования.

Задачи многоэтапной оптимизации называются задачами *динамического программирования*. Такое программирование применяется в случае, когда необходимо принять последовательно несколько управленческих решений. Этот метод учитывает влияние предшествующего решения на последующий выбор [26]. Классической задачей динамического программирования является задача о распределении ресурсов, в которой каждое назначение ресурса на цепь последовательных задач приводит к некоторой части итогового результата. К недостаткам метода в условиях рассматриваемых задач о реконструкции высотных инженерных сооружений можно отнести: узкую область решаемых этим методом задач; невозможность задания ограничений по критериям оптимизации и пределам варьирования исследуемых факторов.

*Экспериментально-статистическое моделирование* заключается в проведении серии экспериментов, например, в виде моделей производственных процессов, согласно заранее утверждённому плану, последующем определении зависимостей между критериями оптимизации (показателями) и исследуемыми факторами путём анализа построенной серии с помощью аппарата математической статистики. Применение теории сокращённого планирования позволяет оптимизировать план численного эксперимента. Это снижает трудоёмкость проведения исследований практически без потери точности [5, 13, 31, 46, 60]. Применение математической статистики позволяет находить такие зависимости между показателями и факторами, характер которых теоретически установить невозможно или очень трудно. По сравнению с рассмотренными выше методами экспериментально-статистическое моделирование обладает следующими преимуществами:

- позволяет построить модели зависимости критериев оптимизации от рассматриваемых факторов с использованием полинома 1, 2 и более степени;
- даёт возможность построить эмпирические зависимости, что позволяет найти сложно формализуемые закономерности;
- позволяет ранжировать факторы по степени их влияния на критерий оптимизации;

- позволяет в ходе анализа принять оптимальное решение по нескольким критериям сразу;
- даёт широкие возможности применения графического анализа;
- позволяет решать практические задачи путём введения одного или нескольких ограничений, как по уровню исследуемых факторов, так и по значениям критериев оптимизации.

Применение широко известных и хорошо зарекомендовавших себя методов моделирования производственных процессов не всегда целесообразно при решении оптимизационных задач реконструкции высотных инженерных сооружений. По сравнению с другими, метод экспериментально-статистического моделирования обладает рядом преимуществ, которые позволяют его рекомендовать для решения поставленных задач. Более подробно данный метод рассмотрен в [подразделе 2.3](#). Некоторые примеры решения оптимизационных задач процесса реконструкции высотных инженерных сооружений рассмотрены в [разделах 3, 4, 6](#).

#### **1.4 Анализ технологий информационного моделирования зданий**

Реализация современных промышленных проектов невозможна без адекватного планирования, эффективного контроля и управления. Для этих целей обычно применяют информационные средства управления проектами, в основе которых лежат известные математические методы расчета критического пути работ, оценки освоенного объема и анализа рисков. Несмотря на популярность, подобные средства не учитывают особенности реализуемых проектов (технологические, конструктивные и т. д.), что неизбежно приводит к ошибкам планирования и дополнительным затратам на их устранение в ходе реализации. Информационное моделирование зданий (BIM – building informational modelling) – инструмент, позволяющий решать множество задач по управлению проектами, создавать объёмные компьютерные модели объектов строительства и реконструкции, включающие конструктивные решения и инженерные системы технологических коммуникаций, схемы электропитания, спецификации материалов, сметы и т.д. Воплощение масштабных высокотехнологичных проектов, таких как реконструкция высотного инженерного сооружения, требует комплексного подхода, сочетающего традиционные методы управления с мно-



гофакторным анализом календарно-сетевых графиков, конструкторской и сметной документации.

Наиболее эффективно строители могут использовать BIM-технологии, используя в своей работе программы, в которых была создана общая интегрированная проектно-строительная информационная модель. При таком подходе строители получают возможность полноценной работы с проектной моделью и доступ к любой информации. Для вычленения или группировки данных по каждому типу объекта или группе схожих объектов используются данные, заложенные при моделировании проекта. Это позволяет оперировать отдельными группами элементов, рассчитывать их технологические и экономические параметры. BIM подразумевает работу с цифровой моделью проекта в любом виде: планы этажей, отдельные спецификации, и т.д. Для того чтобы внести изменения, можно воспользоваться любым видом. При BIM внесённые изменения синхронизируются автоматически.

Ключевыми преимуществами применения технологии BIM в строительстве являются: контроль качества входной документации (3D); управление технологическим процессом строительства (4D); составление смет (5D); интерактивные инструменты для мониторинга и эксплуатации зданий и сооружений (6D); новые возможности для авторского и технического надзора.

Эффективность технологии BIM может заключаться в следующем:

- поиск наиболее рационального управленческого, конструкторского решения на этапе планирования или реализации проекта;
- минимизация рисков, сроков и затрат за счет своевременного выявления и устранения ошибок управленческого, технологического и финансового характера;
- яркое и наглядное изображение хода реализации проекта с помощью 4D-моделирования помогает в общении с инвесторами;
- возможность эффективно эксплуатировать сооружения после возведения или реконструкции путём наладки автоматизированных систем управления, средств технического мониторинга.

В нормативных документах и изученных информационных источниках отсутствует системный анализ программного обеспечения для информационного моделирования строительных объектов. До сих пор не было попыток адапта-

ции BIM к условиям реконструкции высотных инженерных сооружений на территории Украины.

Так, как технология BIM разработана не только для проектирования новых объектов, но и для реконструкции и обслуживания существующих, целесообразно использовать эту методику в Украине. Как показал проведённый в [подразделе 1.1](#) анализ, многие высотные сооружения требуют срочного ремонта и, возможно, станут первыми, при реконструкции которых применят новую информационную технологию в Украине.

В настоящем подразделе проведён анализ существующих программ для реализации технологии BIM, а также обоснован выбор программного обеспечения для построения 4D-моделей высотных инженерных сооружений.

*Анализ программного обеспечения компании Synchro Software.*

Система Synchro обеспечивает:

- улучшение координации и взаимодействия участников в результате выработки единой визуальной картины всего проекта и хода его реализации;
- достоверность и реалистичность планирования с использованием развитых средств 4D-моделирования;
- эффективный контроль над ходом выполнения проектных работ с использованием электронных руководств, видео-презентаций и детального иллюстрационного материала;
- минимизацию рисков, сроков и затрат за счет своевременного выявления и устранения ошибок управленческого, технологического и финансового характера.

Компоненты интеграции с системами автоматизированного проектирования AutoCAD, CATIA, ProEngineer, Solid Works, Bentley Micro Station, Google Sketch Up, а также со средствами управления проектами предыдущего поколения Primavera P3/P6, MS Project, что обеспечивает прозрачный обмен данными и их синхронизацию при внесении изменений и актуализации информации. На [рисунке 1.22](#) показана концепция работы программы Synchro.

Положительными сторонами программы Synchro являются:

- Программа позволяет оптимизировать процесс планирования проекта, наглядно показывая строительный процесс.
- Не требует установки дополнительного ПО.
- Работает на стандартном графическом движке, то есть даже штатная видеокарта имеет возможность предоставить конечный результат, разница лишь во времени.
- Работает с множеством форматов 3D-моделей и программ-планировщиков.

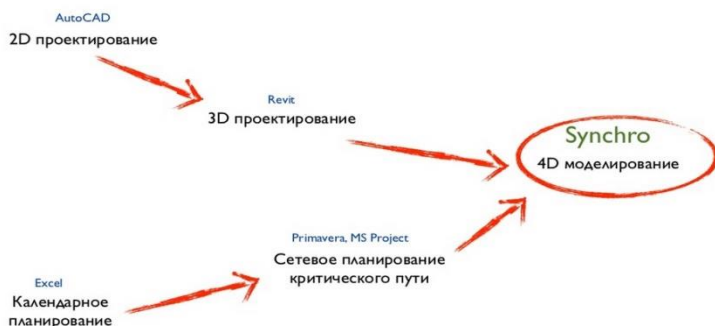


Рис. 1.22 Концепция работы программы Synchro

Отрицательными сторонами программы Synchro являются:

- Программа имеет определённое количество недоработок вследствие недостатка в тестировании пользователями.
- Работа с множеством форматов является положительной стороной, но к каждому формату нужен свой подход, так как взаимодействие между ними может быть довольно сложным.
- Программа не популярна. Из-за малого количества работающих в ней людей, недостаточно обучающего материала. Следовательно, обучение в интернете становится невозможным, а метод проб и ошибок занимает колоссальное количество времени.
- Высокая цена (4500 \$/год).
- Высокие системные требования.

По результатам анализа можно заключить, что рассмотренный программный комплекс отвечает всем требованиям по возможности использования

для визуализации оптимальных моделей реконструкции высотных инженерных сооружений, позволяет показать и спланировать проект реконструкции.

*Комплекс BIM-программ компании Autodesk.*

Программы компании Autodesk известны давно и, казалось бы, в специальном описании не нуждаются. Достаточно лишь упомянуть AutoCAD или 3D's Max, названия которых, похоже, уже вошли в русский язык и стали именами нарицательными, каждое со своим смыслом, как раньше это произошло со словом «ксерокс».

И все же после 2002 года, когда компания Autodesk начала стратегический поворот в сторону технологии BIM, под ее маркой на свет появилось большое количество новых (причем постоянно улучшаемых) программ. На сегодняшний день Autodesk предлагает целый комплекс программ, по совокупности достаточно полно реализующих основные подходы технологии BIM и успешно проявивших себя в мировой проектной практике.

К тому же подавляющее большинство этих программ уже адаптировано как переводом на многие языки, так и поддержанием отечественных проектных стандартов, и наличием большого количества соответствующих этим стандартам библиотек элементов, в том числе доступных пользователям через многочисленные интернет-ресурсы.

Прежде всего, к этому комплексу BIM-приложений компании Autodesk следует отнести:

- Revit Architecture, Revit Structure, Revit MEP – основные программы, непосредственно создающие информационную модель здания и выполняющие львиную долю всей проектной работы (модули соответственно для архитектуры, проектирования строительных конструкций, инженерного оборудования).
- Project Vasari – архитектурное концептуальное 3D-моделирование на начальной стадии проекта.
- AutoCAD Civil 3D – моделирование рельефа местности и инженерного благоустройства территории.
- Robot Structural Analysis – расчеты строительных конструкций по информационной модели здания, а также самостоятельное проектирование этих конструкций. Для расчетов создан подключаемый модуль, позволя-

ющий перевести модель в сертифицированный Robobat (в планах СКАД и Лира) и вернуть результаты расчетов обратно в Revit).

- Ecotect Analysis – экологический анализ проектируемого объекта на основе его информационной модели.
- Navisworks – координация, сборка в единое целое и проверка на согласованность всех частей проекта, созданных в разных программах.

Главной особенностью указанного выше набора BIM-программ является его самодостаточность. При работе над проектом информация может быстро передаваться из одной программы в другую, так что универсальные специалисты (например, инженеры-архитекторы) получают хороший инструментарий для самостоятельной работы над его сложными разделами. Конечно, этот список дополняют и в современном проектировании широко используются также 3D's Max Design, AutoCAD в различных вариантах и многие другие специализированные приложения, в том числе и относящиеся к CAD-технологии, разработанные как самой компанией Autodesk, так и другими ее партнерами для глубокой проработки и решения более конкретных, специальных задач.

Основная задача Navisworks – интеграция и совместный анализ различных (выполненных в разных программах) частей проекта, выявление на этой (объединительной) стадии возможных ошибок и нестыковок, обмен проектными данными между участниками работы, а также некоторые общие действия с проектом целиком (например, визуализация).

Главная проблема любого комплексного проекта – выявление нестыковок (коллизий) при совмещении его частей или смежных разделов. Так вот, Navisworks позволяет управлять коллизиями и отслеживать их вплоть до момента устранения.

При этом отчеты о проверке на коллизии, включая комментарии и снимки экрана, можно экспортировать с целью обмена результатами между участниками проектного коллектива.

Средствами программы Navisworks можно создавать 4D-графики (отслеживание в пространстве с соблюдением временного режима) возведения здания и логистики, наглядно отражающие ход выполнения проекта и помогающие избежать накладок и простоев, позволяющие оценить практическую реализуемость возведения или сноса здания либо его отдельных частей. Проще говоря, такими инструментами программы Navisworks при разработке проекта здания

(или комплекса зданий) решаются задачи организации строительного производства.

В собранной в Navisworks единой модели сочетаются проектная и строительная информация, а также другие данные, записанные практически во всех основных форматах САПР и устройств лазерного сканирования, а также экспортированные из внешних баз данных.

Программа состоит из трех модулей:

1. Navisworks Manage – расчет, моделирование и координация проектных данных, проверка на пересечения и коллизии.
2. Navisworks Simulate – комплексная 4D-симуляция, анимация и получение фотореалистичных изображений собранного воедино проекта, навигация в реальном времени в сочетании со средствами проверки модели.
3. Navisworks Freedom – бесплатно поставляемая программа просмотра (форматы NWD и 3D DWF), позволяющая обмениваться данными со всеми участниками проекта.

Следует уточнить, что модули расширений нельзя купить отдельно, только в составе подписки. А сама подписка приобретается только с последней версией основной программы, но затем может продляться.

Программы Autodesk очень удобны в использовании. Ниже приведены преимущества данного набора программных средств.

- Динамическая инженерная модель – автоматически создаются и убираются рабочие размерности, зависимости, виды.
- Ядро визуализации с трассировкой лучей Accurender, которое архитектору скорее всего уже известно, к примеру, по 3D's MAX, а теперь и Autocad или ADT 2007.
- Возможность взять модель из Sketch Up или 3D's MAX и парой щелчков превратить поверхности этой модели в полноценные объекты – стены, крышу, перекрытия. Для проработки дизайнера и проектирования сложных форм это просто замечательно работает.
- Возможность сделать всю информационную модель на одной трехмерной платформе. Архитектор создал модель здания в Revit Building, конструктор расставил колонны, спроектировал силовые элементы в Revit

Structure, а инженер по системам водоснабжения и канализации проложил необходимые коммуникации.

- Конвейерный тип работы (каждое звено выполняет сугубо свою узконаправленную задачу).

Недостатками линейки программ Autodesk являются:

- Недостаточное развитие платформы. Модули Structure и Systems пока не локализованы.
- Небольшое количество онлайн-библиотек.
- Интерфейс в программе Revit содержит большое количество инструментов, что затрудняет навигацию.
- Комплексом Revit можно построить полную информационную модель сооружения, но получить 4D-визуализацию не получится, так как Navisworks с его дополнениями придётся покупать отдельно.

В целом, программный комплекс предоставляет возможность использования для визуализации оптимальных моделей реконструкции высотных инженерных сооружений, без каких-либо ограничений, для любой строительной компании, имеющей возможность и финансы для его приобретения. Однако, следует учесть, что он требует специально подготовленных высококвалифицированных кадров. Кроме того, создание информационной модели при использовании рассмотренной линейки программ имеет высокую трудоёмкость. Большая часть высотных сооружений – государственная собственность. Таким образом, бюджет реконструкции, как правило, весьма ограничен. Следовательно, для моделирования организационно-технологических альтернатив реконструкции высотных инженерных сооружений целесообразней выбрать другую программу, позволяющую выполнить все необходимые функции, но без использования большого количества дорогих подключаемых модулей.

*Пакет ArchiCAD компании Graphisoft.*

Graphisoft ArchiCAD – программа прежде всего для архитекторов, имеющая массу специализированных инструментальных средств для эффективного проектирования. В ней наряду с развитием средств по повышению производительности индивидуального труда специалистов в едином цикле BIM-проектирования делается еще и серьезный упор на совместную работу архитекторов над общим проектом.



Реализация данного решения основана на предложенной Graphisoft еще в 1997 году и постоянно развивающейся технологии TeamWork, позволяющей группе проектировщиков одновременно работать с единой моделью. При таком подходе общая модель хранится на специально выделенном сервере, который получил название BIM-сервера. А для синхронизации работы на сервер отправляются только изменения, а не весь проект. Это сокращает нагрузку на сеть до минимума и предоставляет возможность синхронизировать данные по разрабатываемому объекту как в рамках офиса, так и через сеть Интернет. [Рисунок 1.23](#) наглядно показывает принцип взаимодействия разных членов команды при работе над одним объектом с помощью рассматриваемого пакета программ.

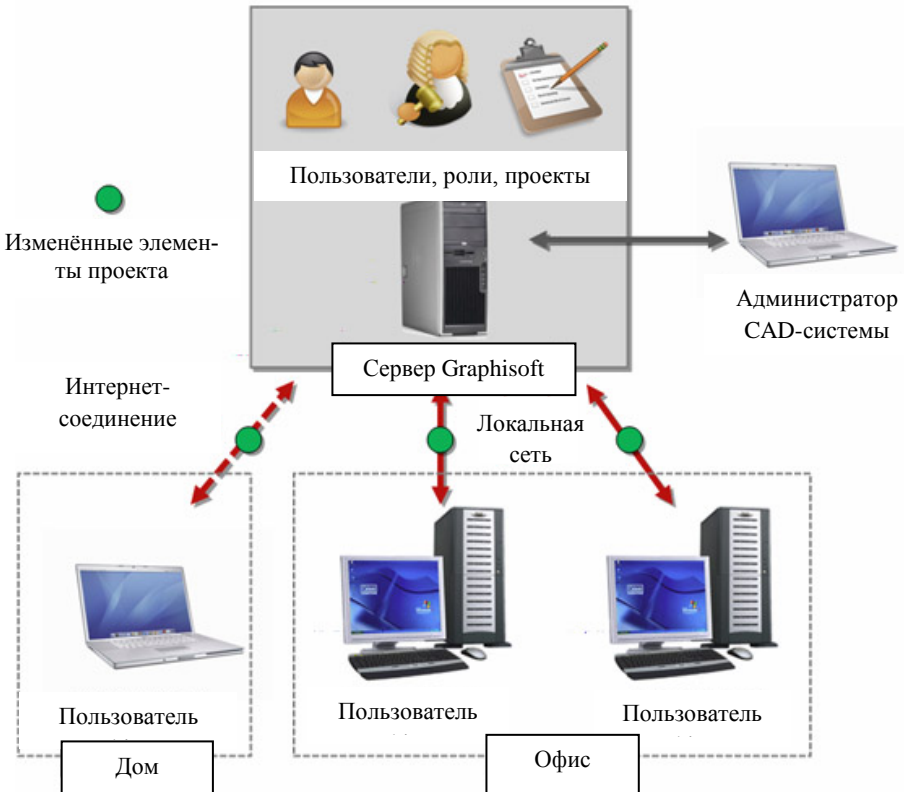


Рис. 1.23 Принцип взаимодействия разных членов команды, при работе над одним объектом

Качественная архитектура требует на всех стадиях проектирования постоянного взаимодействия и со специалистами других направлений, а архитекторы зачастую играют в этом процессе координирующую роль.

Для этих целей в ArchiCAD используется передача данных в формате IFC. Этот процесс превращает программу в довольно сильное средство, хорошо встраиваемое в процесс совместного проектирования при объединении с различными узкоспециализированными инженерными САПР (система автоматизированного проектирования – английский аналог CAD, computer-aided design) и расчетными программами, в том числе с конструкторскими комплексами Autodesk Revit Structure и Bentley Structure.

Этот же IFC-обмен обеспечивает и работу коллектива субподрядчиков – по технологии IPD (комплексной передаче проектов). Возможна также передача данных об объекте в популярных форматах DXF и DWG.

Для качественной визуализации созданная в ArchiCAD модель передается в программу Graphisoft Artlantis, представляющую из себя специализированный комплекс 3D-визуализации, позволяющий быстро и очень просто получить высококачественное изображение проекта, сцены, панорамы виртуальной реальности и анимацию.

Основным преимуществом программ линейки ArchiCAD является естественная взаимосвязь между всеми частями проекта. Технология «виртуального здания» позволяет работать не с отдельными, физически никак не связанными между собой чертежами, а со всем проектом в целом. Любые изменения, сделанные, например, на плане здания, автоматически отобразятся (перестроятся, перерасчитаются) на разрезах, видах, в спецификациях, экспликациях и пр. Такой подход обеспечивает значительное сокращение времени проектирования. Кроме того, при правильной работе с виртуальным зданием гарантировано обнаружение и устранение большинства проблем, которые обязательно проявились бы на более поздних этапах проектирования или, что ещё хуже, уже на строительной площадке.

Благодаря большому количеству настроек стандартных инструментов, объекты настраиваются в соответствии с пожеланиями пользователя.

ArchiCAD позволяет работать над одним проектом группе архитекторов. Развитая система групповой работы (TeamWork) также сокращает время проектирования и способствует устранению несоответствий в частях проекта, разра-

батываемых разными архитекторами. В 13-й версии программы была представлена революционная технология TeamWork 2.0, обеспечивающая непревзойденную гибкость и целостность командной работы.

Начиная с 12 версии ArchiCAD, разработчик выпускает дополнительные приложения, призванные расширить функционал базового продукта. Среди этих приложений:

- MEP Modeler, предназначенный для создания, редактирования и импорта 3D-моделей инженерных коммуникаций в среде ArchiCAD.
- EcoDesigner, позволяющий проводить энергетические расчёты здания силами архитекторов.
- Virtual Building Explorer, предназначенный для создания интерактивной презентации созданного в ArchiCAD проекта.

Недостатком программ линейки ArchiCAD можно считать ограниченные возможности по созданию объектов со сложной, нестандартной геометрией (например, поверхности максимально сложной пространственной формы – так называемое скульптурное моделирование). Это зачастую не позволяет проектировщику стандартными средствами реализовать все свои идеи в полной мере. Для решения такой проблемы можно воспользоваться импортом из сторонних программ, наподобие Cinema 4D, 3D's Max. Также, ArchiCAD не предусматривает многовариантности проектирования (это решение не выделено в отдельный инструмент – класс) – в любой момент времени в рамках одного файла предпочтительно иметь один полноценный вариант принимаемых архитектурно-строительных решений (однако этот недостаток до некоторой степени можно решить отображением комбинаций слоёв).

Некоторым недостатком можно считать достаточно высокую стоимость ArchiCAD (3000 \$). Однако, начиная с 2006 года компания «Graphisoft» предлагают начинающим пользователям урезанную версию программы ArchiCAD Start Edition.

В целом, программный комплекс ArchiCAD без проблем справится с задачей моделирования проектов реконструкции высотных инженерных сооружений, но потратить придётся больше усилий, так как программа рассчитана на проектирование новых объектов, а не реконструкцию старых. Кроме того, вследствие высокой стоимости программа не может быть первым выбором для решения задач исследования.

*Комплекс программ фирмы Bentley Systems.*

Компания Bentley Systems, пожалуй, является рекордсменом по количеству предлагаемых программных продуктов. Список ее специализированных средств для проектирования в 14 укрупненных направлениях деятельности включает в себя более 150 наименований. Укажем лишь некоторые, наиболее распространенные из них:

- Bentley Architecture – архитектурное BIM-приложение.
- Bentley Structural Modeler – BIM-приложение для разработки несущих конструкций и каркасов зданий.
- Bentley Building Mechanical Systems – программа проектирования инженерного оборудования, в том числе систем «климат-контроля» здания.
- STAAD – комплекс программ для расчета и проектирования различных несущих конструкций, каркасов, фундаментов зданий и т. п.
- Bentley Bridge – комплекс программ для проектирования мостов.

Для решения инфраструктурных задач предназначены пакеты:

- Project Wise – собирает воедино (осуществляет взаимодействие) усилия разных проектировщиков в работе над общей задачей. В частности, обеспечивает поддержку данных, рожденных в программах разных производителей, сочетающую в себе как ускоренный доступ к файлам, так и глубокое понимание инженерного содержания.
- Asset Wise – позволяет управлять результатами, полученными при проектировании и строительстве объекта, как структурированными данными, в которых сохранены и понятны все зависимости. Это, в частности, дает владельцам (операторам сооружений) возможность использовать все содержимое информационной модели здания, созданной при проектировании объекта, на протяжении всего его жизненного цикла.
- Open Plant Modeler – единственный в своем роде инструмент проектирования промышленных объектов, в котором встроены возможности MicroStation и предусмотрена поддержка рабочих процессов.

Преимущества программ линейки Bentley Systems:

- Ассоциативность между архитектурными элементами для быстрых изменений в проекте.

- Выбор работы в двухмерных планах или трехмерных моделях, либо обеими технологиями проектирования, используя при этом одинаковый набор инструментов.
- Встроенные параметры, правила и ограничения для обеспечения корректности проектируемых объектов.
- Встроенные высокотехнологичные инструменты рендеринга и анимации включают системы диффузного отражения и контроля частиц.
- Экспорт в STL-формат для быстрого создания моделей и прототипов объектов с помощью трехмерных принтеров и стереолитографических аппаратов.
- Поддержка стандартов США и других стран в области создания проектной документации.
- Поддержка стандартов DGN, DWG, DXF, PDF, STEP, IGES, IFC, а также прочих важных промышленных стандартов.
- Обзор и управление коллизиями в многофайловых документах с помощью Bentley Interference Manager.
- Формирование отчетов о ходе проектных работ с помощью Bentley Navigator и приложений для управления проектами, таких как Microsoft Project или Primavera P3.

Недостатком программ линейки Bentley Systems является то, что компания решила объединить различные программы и продавать их как AECOSim Building Designer. По этой причине приходится приобретать целый комплект программ. Комплект включает MicroStation, Bentley Architecture, Structural, Mechanical и Electrical. Это позволяет всем членам команды работать на одной платформе без необходимости конвертировать BIM-модели. Использование такого комплекта программ имеет смысл для больших архитектурно-строительных компаний, которые осуществляют реализацию интегрированных проектов. Программное обеспечение разработчика включает не только архитектурные, конструкторские и электротехнические разработки, но и другие, не связанные между собой приложения, относящиеся к бурению нефтяных скважин, добыче полезных ископаемых, проектированию линий электропередач, трасс, железных дорог и многого другого. Все эти программы работают на платформе MicroStation, которая сама по себе является очень мощной и надежной, хорошо зарекомендовавшей себя в работе на протяжении многих лет. Для компании Bentley, следовавшей своей бизнес-модели, это предоставляет много возможностей, но для планировщиков, находящихся в поисках эффек-

тивной BIM-программы, это стало бы неверным выбором, поскольку достаточно трудно пользоваться какой-то программой, интегрированной с множеством других программ. Линейка программ Bentley Systems подходит для построения 4D-модели проектов реконструкции высотных инженерных сооружений. Процесс создания занял бы гораздо больший отрезок времени, но показал бы более точный результат, напоминающий Navisworks. Однако, необходимость приобретения целого ряда программ является существенным недостатком, поэтому комплекс не рекомендуется для решения задач исследования.

По результатам анализа программных продуктов, реализующих концепцию информационного моделирования зданий, были составлены сравнительные таблицы. [Таблица 1.5](#) содержит сравнение программных комплексов по основным критериям, каждому из которых была присвоена оценка экспертным методом. [Таблица 1.6](#) содержит сравнение «флагманов» приведённого выше анализа – программ Navisworks и Synchro. Эти продукты были выбраны, так как они сравнительно недороги и удобны в использовании. На [рисунках 1.24](#) и [1.25](#) показан пользовательский интерфейс программ Synchro и Navisworks.

Таблица 1.5

Сравнительная характеристика программ для 4D-моделирования

Наименование критерия \ Наименование ПО	Synchro Software	Navisworks от Autodesk	ArchiCAD от Graphisoft	Bentley Systems
Степень развития средств для 3D-моделирования	10	10	10	10
Развитие модулей для визуализации строительных процессов во времени	10	8	6	10
Развитие средств для управления документами, коммуникациями и осуществления анализа	8	4	6	10
Развитие средств интеграции с другими программами	10	8	6	4
Наличие модулей для инженерных коммуникаций	есть	есть	есть	есть
Удобство для начинающих пользователей	6	8	6	4
Удобство для коммерческого использования	8	6	8	10
Наличие единой платформы/множества отдельных модулей	единая пл-рма	отдельные модули	отдельные модули	единая пл-рма

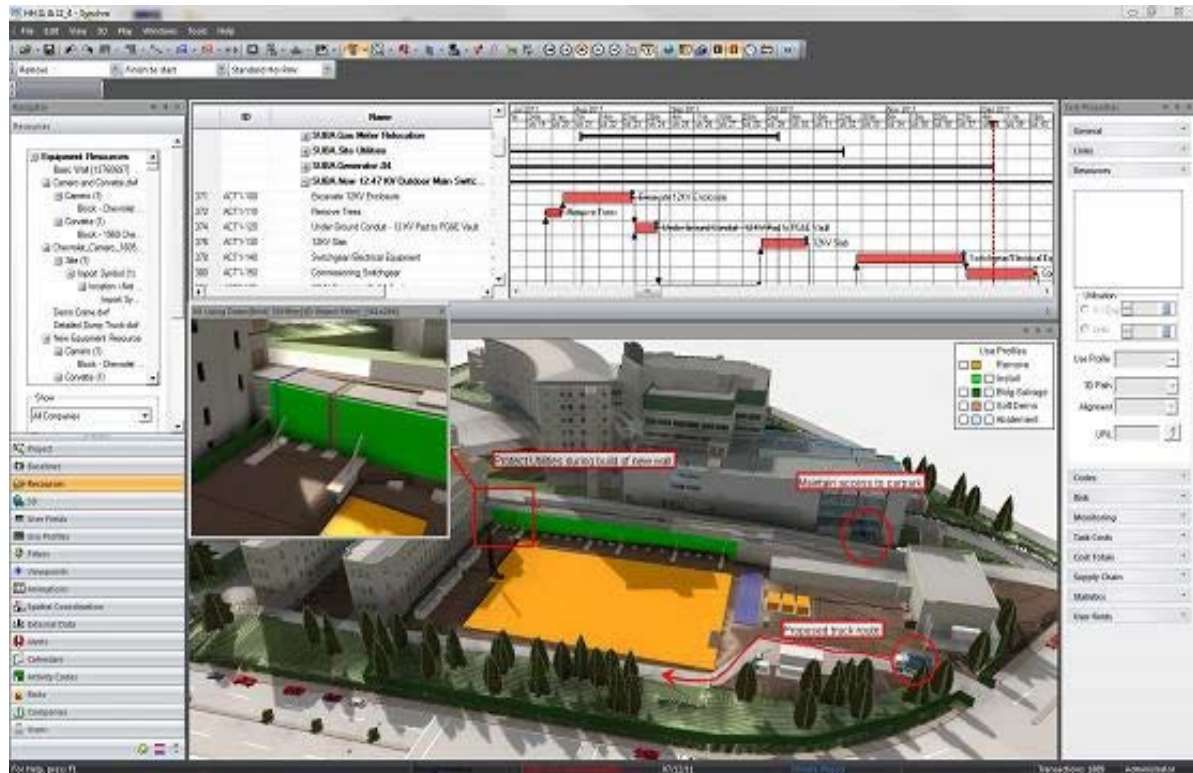


Рис. 1.24 Интерфейс Synchro

Содержание



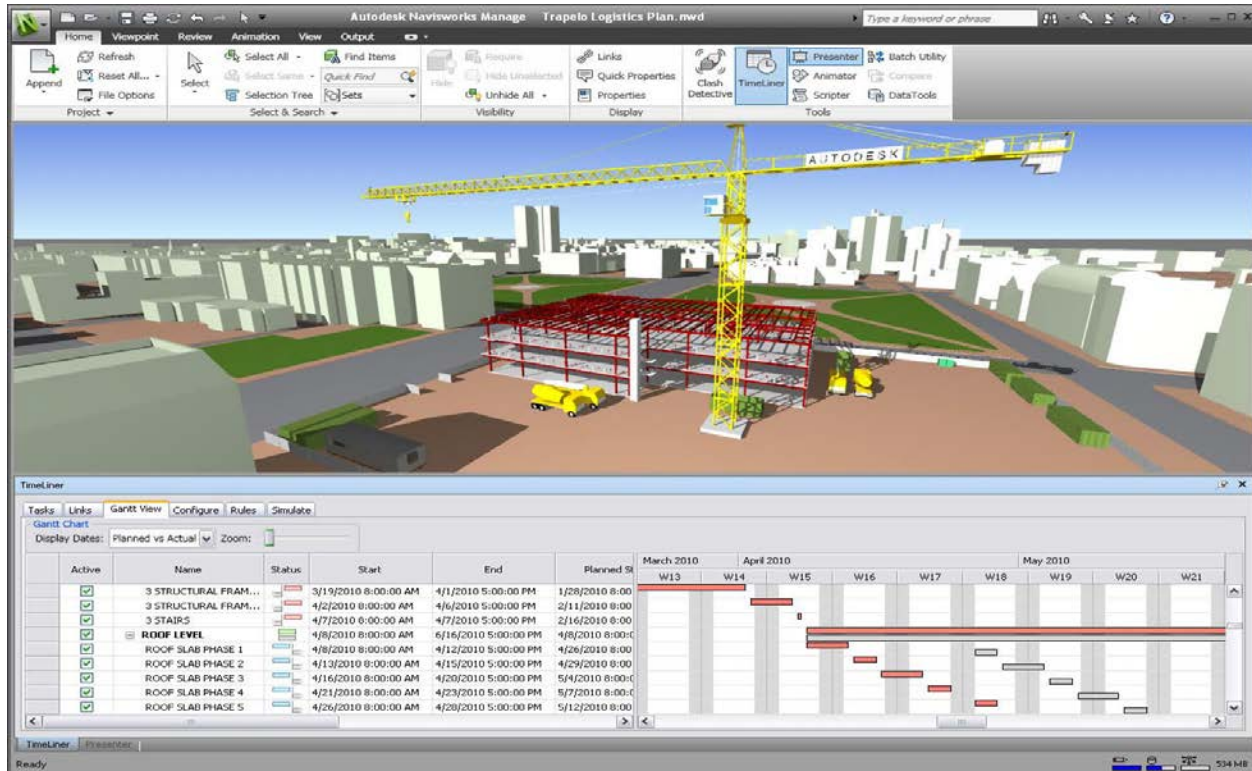


Рис. 1.25 Интерфейс Navisworks

Таблица 1.6

## Сравнение Synchro и Navisworks

Наименование ПО Наименование критерия	Synchro	Navisworks
1	2	3
Вид ленты инструментов	Иконки (отдельные кнопки для инструментов, не имеющие структуры)	«Ribbon» («лента» – панели инструментов, разделённые вкладками)
Системы навигации по программе, инструменты выбора объектов	Сложный многошаговый выбор объектов. Трудности при выделении нескольких объектов.	Простой выбор множества объектов. Понятный режим просмотра модели.
Стоимость	Покупка комплексного решения выгоднее.	Предпочтительнее при покупке отдельных необходимых модулей.
Совместимость с 3D-редакторами сторонних разработчиков	Высокая степень совместимости с ПО серии Autodesk. Предпочтительнее при работе с форматом визуализации Hoops 3D.	Высокая степень совместимости с ПО серии Autodesk. Работает с большим количеством типов файлов.
Совместимость с программами-планировщиками	Совместима с большинством популярных форматов. Поддерживает импорт множества проектных данных.	Совместима с большинством популярных форматов.
Формирование отчётности в виде графика Ганта	Есть	Нет
Возможность построения 3D-модели и её анимации.	Простота при построении 3D-модели. Сложность внесения изменений в модель и трудности при формировании анимации по причине высоких требований программы к ресурсам компьютера.	Сложность настройки 3D-модели. Трудности при настройке масштаба времени во время анимации.

Продолжение таблицы 1.6

1	2	3
Инструменты сопоставления, сортировки, группировки и анализа данных и характеристик объектов и ресурсов при создании 4D-модели	Существует 3D-фильтр (можно фильтровать 3D-объекты и ресурсы, назначенные на них). Для его использования требуется добавить 3D-объекты в список ресурсов.	Содержит мощный инструмент «Search Sets» (настройки поиска), в котором все элементы 3D-модели сведены в единую базу данных.
Программа просмотра 4D-модели без возможности редактирования	Synchro Open Viewer. Достаточно высокие программные требования и требования к свободной памяти.	Autodesk Navisworks Freedom. Достаточно высокие программные требования и требования к свободной памяти.
Принцип привязки 3D-модели к календарному плану	«Привязка ресурсов к задачам» – инструмент «Use Profile» (профиль использования). Один ресурс может иметь различные профили для различных задач, а одна задача может иметь различные ресурсы, и все с разными профилями использования	«Привязка объектов к действиям» – инструмент «TaskType» (тип задачи). Только один тип задачи для каждого объекта. Сложно определить, какие задачи привязаны к определённым объектам в заданный момент времени.
Выявление коллизии (нестыковок, пересечение каких-либо объектов друг с другом)	Простой инструмент проверки – пространственная координация.	Цель создания Navisworks – устранение коллизий, соответственно, эта программа является лучшим решением такого рода задач.

Подведём итоги проведённого анализа. Самое важное – это сам процесс работы, и Synchro помогает делать её верно. Navisworks не покажет, что осталось вне задачи, он просто покажет, что есть в ней. В обеих программах есть «дерево выбора», но в Navisworks оно только одно. А в Synchro – несколько: одно – для 3D, одно – для ресурсов и по одному – на каждую задачу. «Дерево выбора» ресурсов для любой задачи существенно облегчает процесс работы; и

это одна из причин того, что с Navisworks сложно работать даже на проектах средних размеров.

Стиль работы Synchro заставит сделать полный подробный план работ, где всё будет чётко на своих местах: управление проектом, «оживление» плана и даже виртуальная репетиция. А стиль работы Navisworks позволит наделать ошибок, и потом придётся потрудиться, исправляя их.

*Преимущества BIM технологий.*

- Одно из очевидных преимуществ применения BIM – уменьшение сроков и сокращение расходов, требующихся для составления смет.
- Компьютерное проектирование и передача файлов другим участникам проекта по интернету позволяют существенно экономить на времени обмена данными и стоимости этого обмена.
- Минимизации рисков, сроков и затрат за счет своевременного выявления и устранения ошибок управленческого, технологического и финансового характера.
- Яркое и наглядное изображение хода реализации проекта с помощью 4D-моделирования помогает в общении с инвесторами.
- Трудоемкость создания BIM-модели и технические проблемы использования.

Насыщенная информацией трехмерная модель – безусловно, отличный инструмент как для отдельного специалиста, так и для совместной работы в группе. Но внедрение BIM означает, что первоначальные затраты на создание модели возрастают, и в определенных случаях – в разы.

Именно для сглаживания проблемы производительности и декларируется направленность BIM на обслуживание всего жизненного цикла объекта – в таком случае затраты на изготовление модели были бы оправданы; однако и в этом случае поддержание модели в актуальном состоянии будет отнимать значительные ресурсы.

Кроме проблемы трудоемкости, существует чисто техническая проблема, связанная с текущей реализацией BIM, а именно единое хранилище информации о модели. Неповоротливость такого решения приводит к тому, что во многих случаях специалисты предпочитают обмениваться информацией в отдельных файлах, исключенных из BIM-контекста, что, естественно, сводит

на нет преимущества BIM. Кроме того, совершенно непонятно, как может идти речь о сборе всей имеющейся информации об объекте в системе BIM, если, например, данные расчетов конструкций в силу их объемности попросту невозможно постоянно содержать в общем хранилище информационной модели.

Не следует считать упоминание о недостатках BIM попыткой доказать неэффективность применения BIM в целом. Технология BIM безусловно эффективна в определенных условиях, но имеет серьезные ограничения по использованию сторонних средств проектирования и до сих пор спотыкается о необходимость ручной работы в областях, не связанных с визуализацией проекта и организацией пространства и формы.

*Систематизация процесса работы с BIM и связывание разных дисциплин.*

Связывание информации из разных дисциплин в проектировании и строительстве может быть сложным процессом с неочевидными методами решения. Оно требует соединения и систематизации существующих информационных структур, которые используют программное обеспечение от разных, иногда конкурирующих производителей. Между тем, систематизация и устранение барьеров в передаче информации является ключом к повышению производительности в отрасли, которая проходит сейчас одну из самых серьезных трансформаций в своей истории. Попробуем разобраться в вопросе на примере проблемы интеграции дисциплины по анализу конструкций в информационное моделирование зданий.

В результате прихода цифровых технологий в отрасль архитектуры, проектирования и инженерной оценки зданий стало очевидным, что каждый из нас теперь должен разбираться в управлении информацией. Сейчас вершиной эффективной работы с информацией считается технология информационного моделирования. Информационное моделирование имеет множество определений на нескольких концептуальных уровнях (от инструмента до целой парадигмы проектирования), но то главное, на что опираются все преимущества BIM, – это информация. Структурированное хранение информации, позволяющее обеспечивать бесшовную совместную работу с ней для разнообразных участников проекта – это главный козырь BIM, предмет большинства презентаций, книг и дискуссий о BIM.

Во всех дискуссиях о применимости BIM – как среди отечественных, так и среди западных экспертов – обсуждение рано или поздно затрагивает вопрос используемых моделей. Как правило, эти вопросы попросту гибнут в полемике, но упорство, с которым они вновь возникают, требует отдельного осмысления места моделирования в современном, насыщенном информацией рабочем процессе.

Как и многое в управлении информацией, понятие об инженерии на базе модели пришло из машиностроения.

Практически любую инженерную работу и многие виды творческой архитектурной деятельности можно описать в виде работы с абстракцией – моделью, определив три элемента: входные данные, результат и метод (алгоритм) получения этого результата из имеющихся входных данных.

Два критических фактора дают строительству на базе моделей значительное преимущество по сравнению со строительством, основанным на чертежах и документах: во-первых, обрабатываемость компьютером, и во-вторых, ассоциативность данных между моделями. Через ассоциативность возможно достижение режима сквозного моделирования, характеризуемого наличием уникального источника актуальной информации, когда данные в рабочем процессе не дублируются в нескольких моделях, а извлекаются по ссылкам-ассоциациям из источника актуальных данных.

В документо-ориентированной среде пользователь должен интерпретировать результаты работы модели в виде документов и вручную передавать данные на вход пользовательского интерфейса каждой из используемых инженерных программ. Каждая программа, начиная с расчетных процессоров и заканчивая программами автоматизации изготовления, создаёт собственную внутреннюю модель. В парадигме инженерии на базе модели программы непосредственно читают входные данные из моделей. Модели являются полным описанием объекта инженерной работы.

Моделирование рабочего процесса – это отдельная большая тема, о которой следует сказать, что представление инженерной работы в виде комплекса моделей с взаимосвязанными входными и выходными данными позволяет перейти к целостному моделированию всего рабочего процесса на различных его этапах, причем методы такого моделирования могут не ограничиваться популярными сейчас методами BIM. В качестве практического примера по-

пробуем охарактеризовать с точки зрения модельного подхода такую интересную дисциплину, как конструктивный анализ (расчёт) конструкций.

Начнем с общей картины. Ниже показаны отношения между различными специализированными моделями при обычном режиме работы (рис. 1.26) и BIM-концепции (рис. 1.27). Очевидно отличие подходов – в дополнительной центральной модели (так называемой «федерированной»), которая отвечает за синхронизацию и централизованное проведение изменений в подчиненных специализированных моделях. Многим экспертам по BIM такая система видится наиболее правильной, однако большинство реальных внедрений BIM остаются на уровне обычного режима работы.

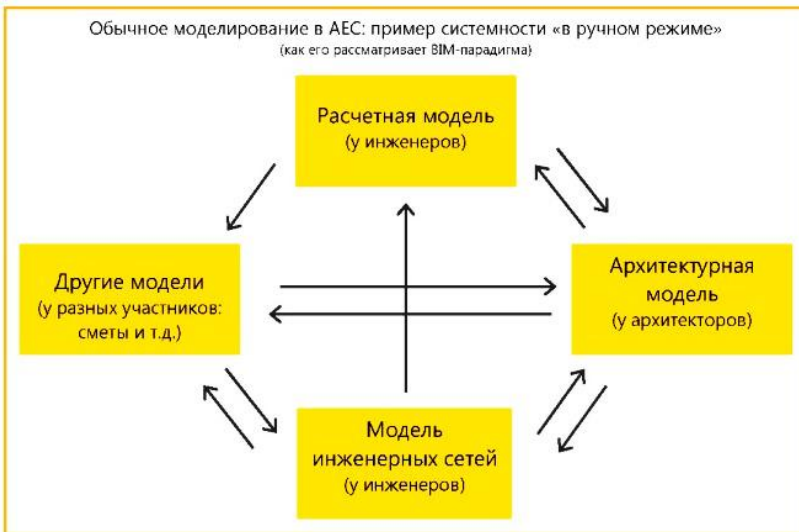


Рис. 1.26 Классическая схема моделей в рабочем процессе и обмена данными между ними

С точки зрения BIM, задача расчета конструкций является просто одним из видов специализированных задач анализа информационной модели, которую следует решать в рамках BIM-парадигмы. Если принять эту точку зрения, то существует ряд распространенных в контексте информационного моделирования зданий представлений о том, как следует проводить расчетный анализ конструкций зданий и сооружений. Согласно этим представлениям:



- всю информацию о цифровом представлении здания и его систем следует собрать в единую информационную модель;
- архитектурную модель можно полностью интегрировать с «конструкторской» моделью в единую и переходить между этими разновидностями представлений модели сооружения с сохранением всей однажды введённой информации о конструкциях (т.е. реализовать вышеупомянутую концепцию уникального источника).

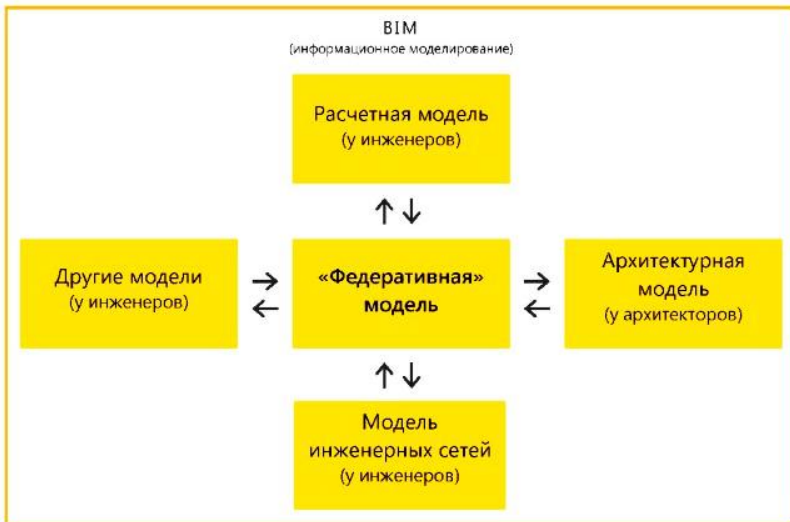


Рис. 1.27 Идеальная схема взаимодействия моделей в ряде вариантов парадигмы BIM

Согласно BIM-парадигме, все данные должны существовать в рамках единой модели. При этом набор используемых инструментов достаточно жестко ограничен в соответствии с основным используемым BIM-пакетом.

Для дальнейшего анализа нам придется разобраться с некоторыми терминами. В рамках нашего примера мы рассмотрим три вида моделей конструкций:

1. Физическая модель, она же архитектурная модель. Её главный признак – строгое соответствие формы элементов модели тому, что должно быть возведено в реальности. Физическая модель – распространенный результат работы архитектурных BIM-пакетов, строго говоря, даже

плоские планы здания можно считать очень простой физической моделью, но мы ограничимся пониманием того, что результат моделирования конструкций в BIM со всеми атрибутами (перегородки, «пироги» стен, оборудование, даже мебель) – это физическая модель.

2. Конструктивная модель, часто неправильно называемая «аналитической» в материалах, относящихся к программе Revit Structure. Конструктивная модель состоит из конструктивных элементов (колонны, балки, пластины, грунтовые массивы и т.д.), специальных элементов (связи, жесткие вставки, нуль-элементы, шарниры и великое множество зависящих от среды реализации тонкостей) и целого набора свойств и параметров для анализа. Конструктивная модель – это то, что раньше рисовали на бумаге и называли «расчетной схемой». Конструктивная модель – это не воспроизведение формы объекта, а абстракция ещё более высокого порядка, чем архитектурная модель, призванная наилучшим, простейшим образом отобразить механические особенности деформирования конструкций.
3. Расчетная модель, которая для нас сейчас почти соответствует понятию «конечно-элементная модель», она же численная модель – строится на базе конструктивной и передается непосредственно на расчет в специализированную программу анализа. Строго говоря, все расчетные модели делятся на два больших математических класса задач: аналитические модели и численные модели. Аналитическая модель (простые примеры: символьная формула, расчетный лист в MathCAD, расчет по нормативным документам) – реализуется т.н. аналитическими методами, позволяющими получить решение в виде формулы. Численная модель – требует итерационного процесса решения численными методами. Все конечно-элементные решатели (например, ЛИРА, Autodesk Robot, ETABS) используют численное моделирование конструкций.

Для простоты не будем касаться других видов моделей – например, конструкторских моделей, к которым относятся смоделированные в 3D результаты расчета и конструирования армирования. По выбранным нами критериям такая модель будет относиться к категории физических моделей, поскольку отображает действительную форму элементов.

Как в рамках BIM, так и в рамках модельного подхода эти категории моделей сообщаются между собой (см. рис. 1.28).

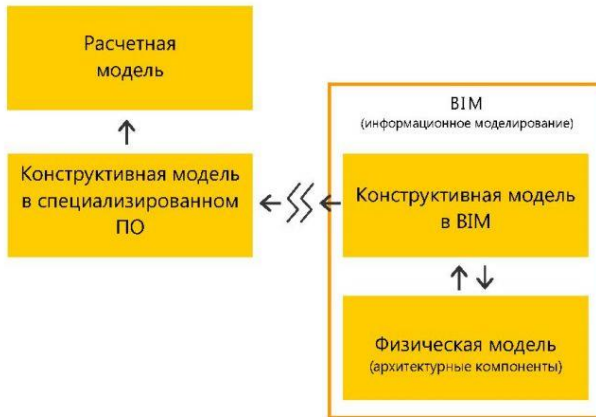


Рис. 1.28 Фрагмент системы BIM-моделей, относящийся к расчетам конструкций

На рисунке конструктивная модель появляется два раза потому, что конструктивные модели бывают разные. Есть конструктивная модель, интегрированная в состав BIM и полностью соответствующая физической (т.е. архитектурной модели). Именно об этом виде конструктивной модели говорят BIM-энтузиасты, когда рассуждают о единой информационной модели сооружения.

Построить такую конструктивную модель сложно, но можно. Программы, которые заявляют наличие минимальных функций вывода данных из BIM, обычно реализуют совместимость в формате IFC.

Основные проблемы, возникающие на этом этапе – технические. Трудно беспрепятственно работать с конструктивной моделью на уровне BIM, поскольку у анализа конструкций есть масса технических нюансов, реализация которых зависит от конечной программы, в которой будет выполняться расчет (на этапе численной модели). Продуктов, действительно предназначенных для работы именно с этим видом конструктивной модели (например, Revit Structure), на самом деле существует немного.

Возможна работа с конструктивной моделью при использовании средств моделирования от разных разработчиков (а комбинировать решения от разных разработчиков нужно по простому принципу: выполнять специализированный вид работы в том продукте, который лучше всего для неё предназначен), но сколько-нибудь эффективные результаты получаются, конечно, при использовании линейки программ одного производителя.

Дело в том, что для качественного анализа конструкции недостаточно попросту преобразовать полученную из BIM конструктивную модель в расчетную модель. Совместимая с BIM конструктивная модель ведь полностью аналогична физической модели, и, следовательно, отражает точную форму конструкции. Парадокс расчетного анализа состоит в том, что нам не надо отражать точную форму конструкции. Ведь, как мы уже узнали, предназначение расчетной модели – абстракция от действительной конструкции с целью максимально просто смоделировать её механическую работу.

Из-за такого абстрагирования от реальной формы конструктивная модель, пригодная для расчетов, становится топологически несовместимой с моделью из BIM. Это значит, что надо переходить к конструктивной модели при помощи инструмента вроде Structural Adjust (из продукта Autodesk Revit). Нарушается целостность связей, номенклатура объектов – всё, что могло нарушиться в модели. Можно поменять колонны на стены и наоборот, заменить два объекта одним, разнести элементы в пространстве из-за особенностей расчета конкретной программы, убрать связи между элементами и смоделировать их через подходящую специальную функцию, доступную только в избранной нами программе анализа – короче говоря, сделать всё, чтобы результат так же мало походил на исходную подложку из BIM, как BIM мало походит на исходные двумерные чертежи формата DWG.

На [рисунке 1.29](#) показан серьёзный случай топологической несовместимости с исходной моделью. Серый цвет – это монолитные стены. Жирные линии – это проекции стен в том положении, в котором они пойдут в конструктивную модель для динамического анализа. При этом целью была минимизация «плохих» пересечений стен между собой и со стенами следующего этажа, который имеет совершенно другую планировку. Второстепенные несущие элементы отбрасывались вовсе, иногда их свойства включались в соседние элементы по широко распространённой в анализе конструкций методике «размазывания» сечений.

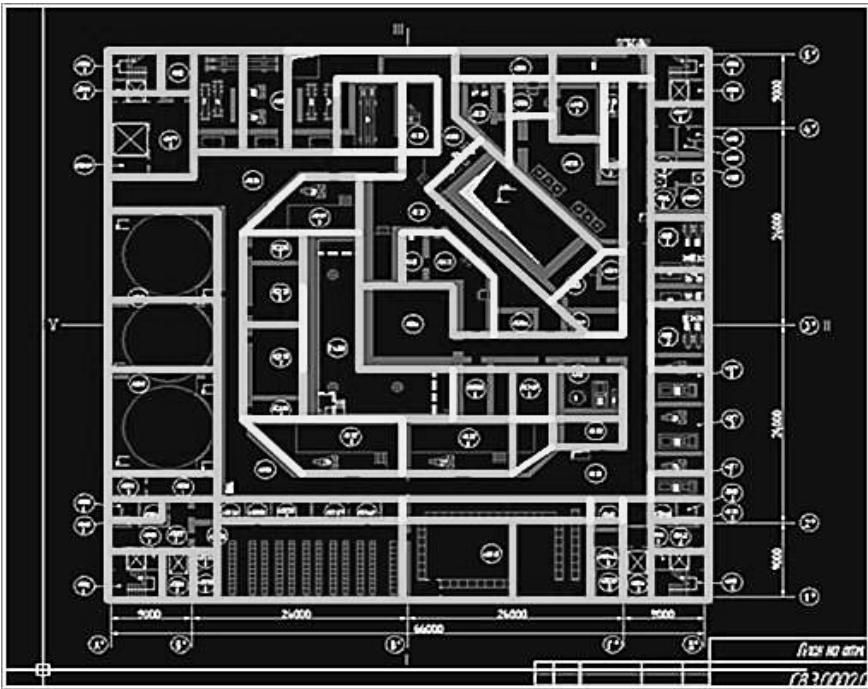


Рис. 1.29 Два топологически несовместимых вида моделей: архитектурная (жирные линии) и конструктивная (тонкие линии)

Если попробовать уложить информационное моделирование конструкций зданий в рамки единого процесса моделирования, то появляются серьёзные проблемы с точки зрения обмена информацией в экосистеме обслуживающих проектирование моделей. Первая проблема – техническая (сложность автоматизации модели и передачи информации без потерь на расчет), вторая – концептуальная, на уровне топологии моделей (непригодность BIM-совместимой модели для анализа в силу принципиальной разницы исполняемых ролей – в одном случае точного воспроизведения формы, в другом случае – абстракции, схватывающей механическую работу конструкции).

Проведём анализ других возможностей применения BIM-технологий. Построенная специалистами информационная 3D-модель проектируемого объекта становится основой для 4/5/6D и активно используется для создания рабочей документации всех видов, разработки и изготовления строительных

конструкций и деталей, комплектации объекта, заказа и монтажа технологического оборудования, экономических расчетов, организации возведения самого здания, а также решения технических и организационно-хозяйственных вопросов последующей эксплуатации.

4D-моделирование – это такой подход в строительстве, когда объект рассматривается не только в пространстве, но и во времени. Синтез календарного графика и модели здания позволяет проверить визуально и с помощью специальных инструментов, насколько верно прошел процесс возведения здания. С помощью классификатора можно привязать каждый конструктивный элемент, оборудование и т.п. к временному этапу и сформировать календарный график работ (как подробный, так и в укрупнённых показателях). Далее можно просмотреть весь процесс возведения в динамике, как анимационный видеоролик, с возможностью делать паузы и заметки, выявлять нестыковки или позиции для оптимизации общего процесса.

Специфика процесса такова, что имеется возможность вносить достаточно широкий спектр данных, которые напрямую могут и не касаться самой модели здания, но значительно влияют на процесс стройки. Это и расположение крана, и количество машин, которые могут проехать через стройплощадку в сутки, и многое другое. Всё вместе позволяет выявить возможные недочёты в логистике и исправить их на этапе, когда сам процесс стройки ещё не начался.

5D-моделирование – это процесс разработки информационной модели, включающей в себя, помимо перечисленного выше, стоимость проекта.

Традиционный процесс формирования смет включает в себя набор однотипных действий, независимо от специфики различных предприятий:

- сбор и проверка данных по проектируемому зданию;
- внесение информации в расчётные программы;
- сопоставление видов работ и нормативов по расчётам;
- сведение данных в единую смету.

Следует отметить, что самым затратным по времени и усилиям является этап по сбору данных и их проверке. В связи с тем, что каждая организация имеет свои подходы к подсчёту, а данные для смет поступают от разных подрядчиков, этот процесс может занимать до 70% от общего времени работ. От-

существование единого формата входящих данных вынуждает специалистов каждый раз использовать различные способы для расчётов и также сильно влияет на качество работы, так как при ручном труде неизбежны разного рода ошибки.

Когда в этот процесс включается BIM, порядок действий принимает следующий вид:

- формирование или подключение готовой базы норм и расценок;
- получение BIM модели здания и сведение в единое целое модели с базой норм и расценок;
- проверка данных и выдача в формат сметной программы.

Такой подход позволяет с большой скоростью и без значительных усилий формировать достаточно точные расчёты сметы прямых затрат. Таким образом, рассматривая весь процесс в целом, инвестор получает возможность оперативно получать информацию по стоимости будущего объекта и в состоянии на любом этапе вносить корректировки в проектное решение, исходя из стоимостных характеристик.

Вершиной мастерства в деле использования BIM модели в строительной отрасли является формирование системы мониторинга и эксплуатации здания. Когда модель, полученная на стадии проектирования, служит хранилищем всех изменений и реконструкций уже после возведения. Имея на руках всю историю изменений в виде BIM модели здания, владелец или служба эксплуатации здания, всегда будут иметь полный контроль над ситуацией. Есть возможность располагать различного рода датчики на здании во время возведения и, таким образом, отслеживать отклонения реальных конструкций от проектных значений.

Эксплуатационная модель здания, или 6D-модель – основа технической системы по эксплуатации здания и сооружения, использующая строительную модель BIM при наполнении данными для процесса обслуживания и эксплуатации здания по принципу «умный дом». Это современное обслуживание всех коммуникационных систем и расчёт расходов на содержание здания, мониторинг состояния установок и периодические осмотры оборудования для поддержания необходимого уровня технической готовности. 6D-моделирование помогает эксплуатационным службам предотвращать или быстро устранять проблемы, просчитывать порядок действий при возникновении непредвиденных ситуаций.



Ключевыми возможностями для эксплуатационных служб являются:

- мониторинг сложных и ответственных объектов, например, высотных инженерных сооружений;
- быстрый поиск неисправностей;
- единая централизованная база данных по всему оборудованию.

Таким образом, можно заключить, что несмотря на недостатки, BIM-технологии имеют широкое применение. Можно смело заявить, что за этими технологиями – будущее.

Только для  
некоммерческого  
использования

## **Выводы по разделу 1**

1. Анализ технического состояния высотных инженерных сооружений в Украине и за её пределами показывает, что значительная часть таких объектов требует комплексной реконструкции или восстановления отдельных элементов и систем, причём, некоторые из них находятся в аварийном состоянии.
2. Анализ способов моделирования процессов строительства и реконструкции показывает, что применение специализированного программного обеспечения, предназначенного для управления проектами, является наиболее эффективным и позволяет рассматривать изменение различных показателей процесса реконструкции высотных сооружений под влиянием организационных, технологических, финансовых и других факторов.
3. Анализ известных методов математического моделирования при решении оптимизационных задач показывает, что наиболее перспективным является экспериментально-статистическое моделирование.
4. Анализ технологий информационного моделирования зданий (BIM-технологий) позволил выявить положительные и отрицательные стороны, рациональные области применения основных программ и определить концепции 4D-моделирования, сделать обоснованный выбор программного обеспечения для построения 4D-моделей реконструкции высотных инженерных сооружений.

## 2. ОБЩАЯ МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНО-СТАТИСТИЧЕСКОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ И ОПТИМИЗАЦИИ ПРОЕКТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ

### 2.1 Обоснование направления исследования

В ходе анализа информационных источников было обнаружено, что большое количество высотных инженерных сооружений в Украине и за рубежом находятся в неудовлетворительном техническом состоянии и требуют проведения восстановительных работ. Среди таких объектов: телевизионная башня в Виннице, дымовая труба Зуевской ТЭС (Донецкая обл.), дымовые трубы Углегорской ТЭС (г. Запорожье), мачта радицентра в Броварах (Киевская обл.), Останкинская телебашня и радиобашня им. Шухова (оба сооружения – г. Москва). Подробнее данный анализ представлен в [подразделе 1.1](#).

Реализация проектов реконструкции (далее ПР) таких сооружений зачастую происходит в сложных архитектурно-строительных, информационных условиях, а также при различных ограничениях (организационных, технологических, финансовых и др.). Ввиду уникальности большей части высотных инженерных сооружений, а также ввиду того, что многие из таких объектов являются памятниками архитектуры, разработать универсальные рекомендации по реализации проектов их восстановления не представляется возможным. В этой связи необходима разработка способов имитационного моделирования процессов реконструкции и оптимизация этих моделей с помощью математических методов. Анализ программных средств, позволяющих создать требуемые модели строительного производства, а также способов математической оптимизации изложен в [подразделе 1.2](#).

Для успешной реализации проекта реконструкции высотного инженерного сооружения необходимо иметь надёжный инструмент управления содержанием, сроками, качеством проекта. Использование 4D-моделирования позволит разработать и внедрить комплексную методологию управления содержанием проекта реконструкции высотного инженерного сооружения на фазах планирования, исполнения, мониторинга и анализа ([подраздел 1.4](#)). Кроме того, применение BIM-технологий позволит на качественно новом уровне управлять ресурсами, архитектурно-строительной интеграцией, временем, со-

держанием проекта реконструкции высотного инженерного сооружения, используя имитационное моделирование с помощью 4D-модели.

Анализ источников по теме исследования показал, что в настоящее время отсутствуют комплексные решения, позволяющие проводить численную организационно-технологическую оптимизацию проектов реконструкции высотных инженерных сооружений ([подраздел 1.3](#)). Для решения поставленной задачи предлагается использовать экспериментально-статистическое (далее – ЭС) моделирование и оптимизацию рассматриваемых проектов с применением методов математической статистики, теории планирования экспериментов и современных программных продуктов в области управления проектами.

Использование данных методов позволит найти зависимости между входными (факторы) и выходными (показатели) параметрами, которые описываются с помощью полиномов (первой, второй или более степени), получаемых при обработке результатов численного эксперимента. Определение этих зависимостей позволит конкретизировать возможные результаты ПР, а также влиять на них с помощью выявления оптимальных режимов производства, решая уравнения с несколькими переменными, обычно графическим способом. Приведём примеры задач, решение которых будет возможно при использовании предлагаемых методов:

- прогнозирование результата при варьировании организационными режимами строительного производства в условиях изменяющейся финансовой ситуации;
- выбор и обоснование технологической схемы производства работ по сравнению с имеющимися альтернативами;
- выбор рациональной совмещённости работ и других режимов интенсификации строительного производства;
- выбор оптимального варианта реализации ПР при большом количестве участников, учитывая и максимально удовлетворяя интересы каждого.
- выбор эффективных вариантов совмещения различных технологий, источников финансирования;
- решение ресурсных конфликтов и выбор оптимальной схемы совмещения различных ПР, выполняемых одной организацией.

Представленные, а также ряд других задач предлагается решать следующим образом. Необходимо моделировать ПР, в виде календарных графиков производства работ и графиков потребления финансовых, трудовых и других ресурсов с использованием специализированных программных продуктов согласно плану численного эксперимента. Это позволит проводить расчёт экспериментально-статистических моделей, их количественный анализ и поиск оптимальных решений по финансово-экономическим (далее – ФЭ) и конструктивно- или организационно-технологическим (далее – КТ или ОТ) критериям.

Под экспериментально-статистической (далее ЭС) моделью в настоящей работе подразумевается математическая модель исследуемых зависимостей показателей от факторов. Она получена на основе статистической обработки результатов построения организационно-технологических или других моделей (например, календарных графиков производства работ) в соответствии с планом численного эксперимента [17].

Использование проектно-сметной документации, результатов технического обследования объектов, требующих реконструкции, обеспечивает достоверность исходных данных оптимизационного исследования. Применение ЭС-моделирования и теории планирования эксперимента позволяет с заданной точностью решать задачи оптимизации ПР, варьируя организационные, технологические и финансово-экономические режимы. Применение современных программных продуктов, реализующих статистические методы построения ЭС-моделей, обеспечивает точность и наглядность представления результатов предлагаемой методики. Используемые методы графической и аналитической обработки результатов позволяют количественно обосновать принимаемые решения в сложных, нелинейно изменяющихся условиях реализации ПР. Применение программных средств для управления проектами способствует формализации принимаемых решений в удобный для использования в производственных условиях вид.

Рассмотрим задачи, решение которых возможно при использовании настоящей методики. Отметим, что возможны различные типы и виды решения предлагаемых задач. Вид 1 характеризуется рассмотрением исключительно процесса производства строительно-монтажных работ, в то время как вид 2 рассматривает процесс реализации ПР полностью, как инвестиционно-строительный проект, например, при модернизации и изменении целевого назначения объекта реконструкции. Соответственно, вид 1 больше затрагивает

решение организационно-технологических задач и ресурсных конфликтов, оптимизацию технических решений, тогда как вид 2 – решение задач оптимизации схем финансирования и распределения денежных потоков. Различны и форматы оптимизационных решений: для вида 1 это график производства работ, графики потребления трудовых и финансовых ресурсов, потребности в машинах и механизмах, отражающие выбранную модель строительного производства, для вида 2 – таблица денежных потоков по проекту, отражающая выбранную модель при заданных ограничениях и содержащая показатели эффективности ПР по каждому из периодов и в целом по проекту, а также укрупнённые графики производства работ, содержащие подробную финансово-экономическую информацию по проекту.

Опишем типы задач, постановка которых возможна в настоящей методике:

1. Оценка влияния и выбор оптимальных значений ОТ факторов при заданных ФЭ условиях (сравнение, выбор и обоснование стратегии ОТ решений):
  - при заданной схеме финансирования, структуре и сроках финансирования, составе участников;
  - при заданном уровне инфляции, ставке налогообложения, ставке амортизационных отчислений;
  - при заданных норме дисконта, внутренней норме доходности и других базовых показателях бизнес-плана, принятых условно оптимальными [33];
  - при заданном методе учёта вложений собственных ресурсов [37]:
    - метод альтернативных проектов;
    - метод альтернативных издержек.
2. Оценка влияния и выбор оптимальных значений ФЭ факторов при заданных ОТ условий (сравнение, выбор и обоснование стратегии ФЭ решений):
  - при заданном решении ресурсной/временной задачи;
  - при заданном методе расчёта календарного плана [6]:
    - метод критического пути;
    - метод непрерывного использования ресурсов;
    - метод непрерывного освоения фронтов работ.

- при совмещении процессов с минимальными или управляемыми резервами времени.
3. Выбор эффективной стратегии (ФЭ и ОТ) реализации ПР при существующих ограничениях.
  4. Оценка рисков использования выбранной стратегии реализации ПР (оптимальной или нескольких рациональных моделей) при заданных условиях с помощью метода Монте-Карло или изопараметрического анализа [22, 42].
  5. Анализ и оценка ОТ и ФЭ стратегии для реализованных моделей однотипных ПР.

Для всех типов и видов задач возможно рассмотрение как единичного проекта, так и групп ПР.

Эффективность результатов применения разработанной методики по выбранным критериям оптимизации в рамках одного расчёта может принимать следующие формы:

- экономическая – выражается в удовлетворении финансовых критериев оптимизации экспериментальных моделей;
- техническая – выражается в выборе оптимальных организационно-технологических режимов реализации ПР;
- социальная и/или экологическая (для социальных и/или экологических проектов) – выражается в выборе стратегий реализации ПР, которые учитывают социальные и экологические интересы общества.

## **2.2 Алгоритм оптимизации организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений**

Предлагаемая методика оптимизации организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений реализуется с помощью алгоритма, показанного на [рисунке 2.1](#). Он включает в себя анализ результатов обследований и проектно-сметной документации, разработку организационно-технологических моделей процесса реконструкции, математическое моделирование закономерностей изменения показателей реконструкции и их последующую оптимизацию в соответствии с заданными ограничениями.





Рис. 2.1 Блок-схема методики исследования

Ниже более подробно описаны приведённые на [рис. 2.1](#) этапы.

1. Проведение и анализ результатов технического обследования высотных инженерных сооружений.
2. Разработка и анализ проектно-сметной документации и определение исходных данных для оптимизационного исследования.
  - Разработка проектной документации: чертежей стадии П, проекта организации строительства, локального, сводного сметных расчётов, и т. п. (при необходимости).
  - Поиск альтернатив базовому проекту, составление номенклатуры, расчёт трудозатрат и расценок на комплексы работ (при необходимости).
3. Выбор наиболее значимых показателей и влияющих на них факторов.

- Назначение степеней рисков реализации выбранных организационно-технологических и финансово-экономических схем (для задач типа 4 – [см. стр. 87](#)).
  - Анализ финансово-экономических и организационно-технологических результатов, завершённых ПР (для задач типа 5 – [см. стр. 87](#)).
  - Многокритериальный анализ имеющихся технологических, финансово-технологических и др. альтернатив (подробно рассмотрен в [разделе 5](#)).
  - Определение наиболее важных показателей и влияющих на них факторов.
4. Разработка моделей строительного производства в соответствии с разработанным планом экспериментов.
- Построение и обоснование плана проведения эксперимента, проверка его адекватности реальным условиям по организационно-технологическим и/или финансово-экономическим критериям.
  - Построение экспериментальных моделей производства ПР с помощью специализированного программного обеспечения в соответствии с планом проведения эксперимента.
5. Построение экспериментально-статистических моделей зависимости показателей от исследуемых факторов с помощью специализированного программного обеспечения.
- Определение предельно допустимой погрешности и ошибки эксперимента.
  - Построение экспериментально-статистических моделей зависимости выбранных показателей от исследуемых факторов с помощью специализированного программного обеспечения для обработки экспериментальных данных.
6. Графическая интерпретация и количественный анализ полученных результатов численного эксперимента.
- Предварительный анализ наиболее общих закономерностей исследования путём анализа матрицы результатов эксперимента.
  - Качественный анализ результатов по полученным аналитическим моделям изменения показателей.
  - Ранжирование факторов по степени влияния на показатели в зоне максимумов и минимумов, средних значений и синергизму (при необходимости).

- Проведение экспериментальных исследований с меньшим количеством факторов или с ограничением области варьирования факторов (при необходимости).
  - Построение базовых многомерных графиков зависимости показателей от всех исследуемых факторов, их анализ и поиск областей факторного пространства, содержащих точки оптимума.
  - Изучение некоторых областей факторного пространства путём построения моделей с использованием предположительно оптимальных организационно-технологических режимов.
  - Сравнение нескольких точек оптимума по выбранным критериям: организационным, технологическим, финансовым и др. (при необходимости).
  - Построение много- и одномерных графиков с введением ограничений по значениям показателей и факторов.
7. Оптимизация в условиях заданных ограничений, выбор оптимального решения и его формализация в виде, удобном для производственного использования.
- Оптимизация полученных зависимостей в условиях заданных ограничений по значениям показателей или уровням факторов.
  - Количественный анализ полученных зависимостей и принятие оптимальных ОТ и ФЭ решений ПР.
  - Приведение найденных оптимальных решений в вид, пригодный для производственного использования:
    - календарный график производства строительно-монтажных работ;
    - графики потребления трудовых и финансовых ресурсов, потребности в машинах и механизмах, отражающие выбранную модель строительного производства;
    - технологические карты на производство строительно-монтажных работ методами, признанными оптимальными по результатам исследования;
    - таблица денежных потоков по проекту, отражающая выбранную модель при заданных ограничениях и содержащая показатели эффективности ПР по каждому из периодов и в целом по проекту;
    - укрупнённые графики реализации ПР, содержащие подробную финансово-экономическую информацию по проекту.

Приведённый выше алгоритм требует использования специальных методов для интерпретации результатов экспериментально-статистического моделирования. Перечислим основные из них:

- построение ЭС-модели на основании результатов численного эксперимента, представляющей собой зависимости между рассматриваемыми показателями и влияющими на них факторами;
- построение на основании модели одно- и/или многомерных графиков и их интерпретация;
- построение графиков влияния фактора на показатель в зонах максимумов, минимумов показателя и средних значений факторов;
- ранжирование степени влияния факторов на показатель;
- сравнительная оценка управляющих воздействий (одного или нескольких факторов) на рассматриваемый показатель;
- ввод ограничений (организационного, технологического, финансово-экономического, нормативного или другого характера), либо величин исследуемых показателей, либо пределов варьирования уровней факторов;
- построение специализированных диаграмм зависимости показателей от влияющих факторов в случае интерпретации взаимозависящих входных параметров (например, «смесевых треугольников» – тернарных графиков зависимости показателей от факторов);
- изучение изменений комплексных показателей ПР при варьировании уровней факторов и определение эффективных решений при их наилучших значениях при заданных ограничениях.

### **2.3 Особенности применения экспериментально-статистического моделирования и теории планирования эксперимента в оптимизационных исследованиях**

Одним из действенных инструментов, повышающих качество и эффективность научно-исследовательских работ, является математическая теория эксперимента. Она является основополагающей частью теории экспериментально-статистического моделирования. Математическое описание исследуемых явлений требует минимального количества опытов, из которых информа-

ция извлекается с максимальной полнотой. Это позволяет сократить расход времени и средств на экспериментальные работы [68, 69].

В настоящей работе предлагается выполнять анализ результатов экспериментальных исследований по экспериментально-статистическим (ЭС) моделям, описывающим влияние организационно-технологических и финансово-экономических факторов на исследуемые показатели.

Компьютерные технологии исследований при анализе результатов ЭС моделирования позволяют повысить их надёжность и достоверность. В рамках компьютерных технологий ЭС-модели и вычислительные эксперименты, проводимые по ним, обеспечивают тем большую экономию ресурсов за счёт увеличения достоверности результатов и повышения качества и надёжности системы, чем сложнее задача по количеству и взаимному влиянию анализируемых факторов и выше требования к технологии.

Эффективность ЭС-моделирования в значительной степени зависит от физической постановки задачи, от правильности выбора методов исследования и оптимизации, от глубины физической интерпретации результатов.

Постановка исследований в работе основана на системно-структурном подходе, который является в настоящее время одним из основных научно-методологических принципов исследования в решении задач оптимизации, управления и анализа сложных систем, какими являются технологические процессы. Сложность и многоплановость проблемы выбора эффективных организационно-технологических решений предопределяет необходимость системного подхода не только к объекту исследования, но и к самому процессу научного исследования. В работе использована стратегия системного подхода при изучении технологических задач с применением методов ЭС-моделирования сложных систем для обработки и анализа экспериментальных данных.

Экспериментально-статистический анализ позволяет обеспечить чёткую логику исследования, обосновать его процедуру, выделить как эвристические (требующие существенного интеллектуального напряжения от исследователя), так и формализуемые до уровня стандарта этапы.

В результате статистического анализа проверяются гипотезы о равенстве истинных коэффициентов ЭСМ и об адекватности моделей эксперимен-

тальным данным, по которым она построена. Критерий Стьюдента ( $t$ -критерий) следует выбирать при заданной степени риска (обычно равной  $\alpha = 0,2$ ) и заданном числе степеней свободы эксперимента. Модель проверяется на адекватность с использованием информации о среднеквадратичной ошибке эксперимента  $S_{\Sigma}$  и среднеквадратичной ошибке неадекватности  $S_{\text{НА}}$ . Проверка по критерию Фишера осуществляется при  $\alpha = 0,05$ . Построенные экспериментально-статистические модели должны удовлетворять двум гипотезам: все оценки коэффициентов значимы (с заданной степенью риска  $\alpha$ ) и отличаются от нуля. Это гарантирует адекватную в инженерном смысле интерпретацию [45].

Для выполнения оптимизационных организационно-технологических задач часто требуется определить соотношение величин некоторых факторов в общем объёме, при влиянии некоторых независимых входных параметров, и соответствующее влияние на показатели. С помощью настоящей методики данный приём можно использовать для решения различных задач. Например, таким случаем является поиск оптимального соотношения различных технологий, используемых в общем строительном объёме или поиск соотношения количества денежных средств, получаемых из различных источников. При этом, задача поиска оптимальных независимых переменных, например, организационных, остаётся. Таким образом, план для данного типа оптимизационных исследований должен содержать факторы, имеющие как взаимозависимый, так и независимый друг от друга характер. Взаимозависимый характер факторов означает, что любое изменение уровня одного фактора повлечёт за собой изменение уровней других.

Предложим план, удовлетворяющий заданным требованиям. Матрица планирования, а также ковариационная матрица, представлены в [таблице 2.1](#). В ней показаны нормализованные (безразмерные) оценки уровней факторов, совокупность которых отражает все необходимые для корректного построения ЭС-модели комбинации в виде матрицы планирования эксперимента. Ковариационная матрица представляет собой частный случай ЭС-модели ([2.1](#)), адаптированной к приведённому плану и представленной в виде матрицы. Взаимозависимые факторы обозначены  $V_1, V_2, V_3$ , независимые –  $X_4, X_5$ . Следует отметить, что в настоящей методике возможно использование факторных планов, содержащих любое количество как взаимозависимых, так и независимых

между собой факторов. Данные комбинации отражены в соответствующих планах экспериментов [8, 55].

Таблица 2.1

Матрица планирования и ковариационная матрица

№ точки	Нормализованные значения факторов					Ковариационная матрица				
	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	V <sub>1</sub>	V <sub>2</sub>	V <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>
1	0,00	1,00	0,00	-1,0	-1,0	1	0	0	0	0
2	0.5	0,00	0.5	0,0	-1,0	0	1	0	0	0
3	1,00	0,00	0,00	-1,0	0,0	0	0	1	0	0
4	0,00	0,00	1,00	-1,0	0,0	1	1	0	0	0
5	0.5	0.5	0,00	-1,0	1,0	1	0	1	0	0
6	0.5	0.5	0,00	0,0	-1,0	0	1	1	0	0
7	0.5	0,00	0.5	0,0	0,0	1	0	0	1	0
8	0,00	0.5	0.5	0,0	1,0	0	1	0	1	0
9	1,00	0,00	0,00	1,0	-1,0	0	0	1	1	0
10	0,00	1,00	0,00	1,0	-1,0	1	0	0	0	1
11	0,00	0,00	1,00	1,0	-1,0	0	1	0	0	1
12	0.33(3)	0.33(3)	0.33(3)	1,0	0,0	0	0	1	0	1
13	1,00	0,00	0,00	1,0	1,0	0	0	0	1	1
14	0,00	1,00	0,00	1,0	1,0	0	0	0	2	0
15	0,00	0,00	1,00	1,0	1,0	0	0	0	0	2

Для решения задач анализа и оптимизации исследуемых факторных систем в работе использована теория математического моделирования. При этом рассмотрены экспериментально-статистические регрессионные модели. Каждая модель – это функция. Она показывает, как изменяется исследуемый пока-

затель ( $Y$ ) при изменении соответствующих факторов ( $X_i$ ). Форма модели – полином (отрезок Тейлора), в который разлагается неизвестная исследователю функция, связывающая в границах  $X_i^{min} \leq X_i \leq X_i^{max}$   $k$ -факторов  $X_i = (X_1, \dots, X_k)$  и выход (отклик системы –  $Y$ ), которые представлены в виде общей полиномиальной экспериментально-статистической модели (ЭС-модель) [2.1](#):

$$Y = b_0 + \sum_{i=1}^k b_i x_i + \sum b_{ij} x_i x_j + \sum b_{ii} x_i^2 + \sum b_{jj} x_j^2 + \dots + \varepsilon \quad (2.1)$$

В модели [\(2.1\)](#) коэффициенты  $b_0$ ,  $b_i$ ,  $b_{ij}$ ,  $b_{ii}$ , ... через соотношение  $X_i = x_i \Delta X + X_{0,i}$  функционально связаны с числовыми оценками истинных коэффициентов и определяются как статистические величины по экспериментальным данным и установленным в исследовании ограничениям  $X_i^{min}$  и  $X_i^{max}$ . Все коэффициенты в формуле [\(2.1\)](#), во-первых, являются случайными величинами – статистическими оценками истинных параметров полинома  $\beta_0$ ,  $\beta_i$ ,  $\beta_{ij}$ ,  $\beta_{ii}$ , ...; во-вторых, в силу безразмерности нормализованных факторов  $x_i$  все коэффициенты имеют ту же размерность, что и исследуемый отклик системы  $Y$ ; в-третьих, свободный член  $b_0$  тождественно равен расчетному значению отклика  $Y$  в центре факторного пространства ( $Y = b_0$  при  $x_i = 0$ ,  $i = 1, k$ ).  $[b]$  – статистическая оценка по экспериментальным данным «истинных» коэффициентов ЭСМ (свободный член  $b_0$  линейный эффект от  $i$ -того фактора  $b_i$ , эффекты взаимодействия факторов  $b_{ij}$ , квадратичный эффект от  $i$ -того фактора  $b_{ii}$ ). После проверки моделей на адекватность по F-критерию Фишера при уровне значимости  $\alpha=0.05$ , в модели остаются только значимые коэффициенты [\[46\]](#).

Наиболее распространенным графическим отображением моделей является, в частности:

- в двухфакторном (квадратном) пространстве ( $-1 \leq X_2 \leq +1$ ) диаграмма функции  $Y = f(X_1; X_2)$ , построенная с помощью линий равного уровня свойств  $Y = const$  – изолиний.
- в трехфакторном (кубическом) пространстве ( $-1 \leq X_2 \leq +1$ ) функция  $Y = f(X_1; X_2; X_3)$  отображается с помощью семейства поверхностей равного уровня  $Y_j = const$  – изоповерхностей.



Для визуализации результатов исследования, содержащих взаимозависимые факторы, используются специальные виды графиков. Для представления закономерностей изменения показателя от трёх взаимозависимых факторов применяются графики, которые называются тернарными (рис. 2.2). На рисунке показан пример графика, который содержит изолинии некоего показателя  $Y$ , отражающие его значения, например, 5 и 10. Показатель зависит от соотношения факторов  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ , выражаемых в долях от единицы (табл. 2.1.) или в процентном соотношении (рис. 2.2). Для поиска уровня каждого из факторов некой точки  $A$  необходимо определить координаты по линиям координатной сетки. Каждая линия имеет продолжение за пределами треугольника, что помогает определить, уровень какого из факторов она показывает. Так, для искомой точки  $A = 7$ : ( $V_1 = 40$ ;  $V_2 = 20$ ;  $V_3 = 40$ ).

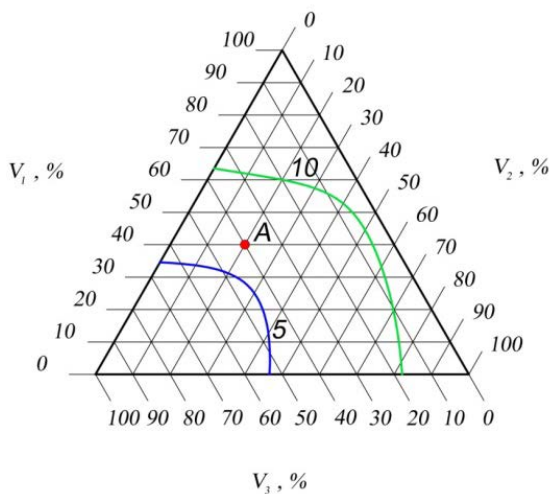


Рис. 2.2 Общий вид тернарного графика (пример)

Вычисление результатов эксперимента и их обработку рекомендуется проводить с помощью компьютерных технологий. В частности, для накопления, анализа и сортировки полученных экспериментальных данных возможно применение программы обработки электронных таблиц Microsoft Excel, входящая в комплект программ Microsoft Office. Для построения сетевых моделей

предлагается применять программу Microsoft Project. Редактирование рисунков и графиков возможно с помощью редактора для работы с цветными растровыми изображениями Microsoft Paint. Построение и статистический анализ экспериментально-статистических моделей (ЭСМ) выполняется по стандартным методикам [11, 21, 70, 71] с применением диалоговой системы COMPEX.

## 2.4 Классификация используемых показателей и факторов, влияющих на них, методы их подбора и формализации

Настоящая методика рассматривает строительное производство в виде «черного ящика» – системы, на которую можно воздействовать с помощью изменения входных параметров и фиксировать исходящие. При этом происходящие внутри системы процессы сложны в такой степени, что корректно описать их с помощью ограниченного числа формул невозможно (рис. 2.3). Действительно, многие закономерности изменения показателей проекта от условий реализации являются нелинейными. Например, увеличение количества рабочих на объекте в «п» раз необязательно сократит общую длительность строительства в той же степени. Для адекватного описания зависимостей, имеющих место в системе «реализация ПР», целесообразно использовать аппарат математической статистики, реализованный в рамках теории ЭС-моделирования.

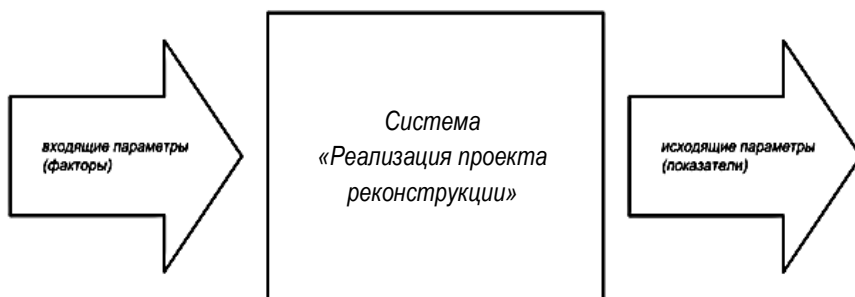


Рис. 2.3 Система «Реализация проекта реконструкции»

Таким образом, для получения корректных результатов оптимизационного расчёта требуется правильно определить входящие и исходящие параметры системы. Для адекватной интерпретации ЭС-модели необходимо определить критерии оптимизации как граничные значения исходящих параметров системы (показателей), а также найти входящие параметры (факторы), которые имеют наибольшее влияние в исследуемых пределах их изменения.

Дадим определения понятиям «показатель» и «фактор» в рамках настоящего исследования:

- показатель – это исходящий параметр исследуемой системы, ЭС-модель которой оптимизируется, измеряемый в каждой точке плана эксперимента и представляющий интерес согласно критериям оптимизации;
- фактор – это входящий параметр исследуемой системы, уровни которого варьируются в пределах факторного пространства согласно плану эксперимента.

Согласно теории ЭС-моделирования, факторы, используемые в планах экспериментов, могут иметь следующий характер взаимосвязей:

- независимые – изменение уровня  $i$ -того фактора не меняет уровень  $j$ -того фактора;
- коррелирующие – изменение уровня  $i$ -того фактора меняет уровень  $j$ -того фактора в некоторой степени;
- взаимозависимые – изменение уровня  $i$ -того фактора вызывает изменение уровня  $j$ -того фактора на ту же величину.

Использование коррелирующих факторов в рамках настоящей методики не рекомендуется, так как это снижает точность ЭС-модели.

Факторы делятся на следующие типы:

- количественные – изменение уровней которых фиксируется некой количественной шкалой (например, количество часов работы в день);
- качественные – уровни изменения которых невозможно зафиксировать с помощью численной шкалы, поэтому их размещение в пределах факторного пространства (кодирование) происходит условно (например, использование бетононасоса или бадей для подачи бетонной смеси к месту укладки).

Установлено, что использование качественных факторов снижает точность ЭС-модели, поэтому их применение в рамках настоящей методики не рекомендуется [31, 55, 60]. Для корректного определения зависимостей показателей от качественных факторов предлагается проводить несколько серий экспериментов, каждая из которых будет содержать некоторый уровень качественного фактора. В некоторых случаях вместо этого можно изменять тип фактора, преобразуя его из качественного в количественный. Это производится путём определения технологической или иной специальной характеристики, величину которой возможно поместить в пределы факторного пространства. С помощью такой характеристики можно однозначно и корректно определять уровень фактора. Так, для примера, приведённого выше, в качестве характеристики варьирования можно использовать минимально возможную подвижность бетонной смеси. Применяя бетононасос, данная величина будет выше, чем при транспортировании смеси в бадре. Приём изменения типа фактора позволит корректно поместить разные технологии в рамки плана эксперимента и однозначно зафиксировать уровень фактора. Следует отметить, что использование в качестве характеристики варьирования величин продолжительности ПР, стоимости и трудоёмкости нежелательно, так как они являются основными для анализа и оптимизации. Кроме того, такие характеристики могут быть зависимыми от других исследуемых факторов.

В рамках настоящей методики используются следующие виды факторов:

- технологические – методы и способы производства работ, характеристики используемых материалов, машин, трудовых ресурсов;
- организационные – методы и способы интенсификации процесса реализации ПР, временные характеристики ПР;
- финансово-экономические – факторы изменения схем финансирования, способов привлечения финансовых средств, интенсивности финансирования, характеристики бизнес-плана.

В [таблице 2.2](#) приведены наиболее часто используемые показатели и факторы, оказывающие влияние на них. Показатели проранжированы по нисходящей согласно критерию наибольшей значимости. В качестве такого критерия принято количество влияющих факторов на рассматриваемый показатель.

Таблица 2.2

Показатели и факторы, оказывающие влияние на них

Показатели	Факторы, оказывающие влияние на показатель
1.	2.
1. Интенсивность потребления финансовых ресурсов	1. Количество рабочего времени в неделю.
	2. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	3. Количество задействованной строительной техники.
	4. Степень совмещения строительных процессов.
	5. Выработка используемых машин и механизмов.
	6. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	7. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	8. Длительность ПР (как фактор, имеющий ФЭ характер).
	9. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ПР.
	10. Технология производства работ.
	11. Схема финансирования.
2. Прибыль проекта в целом или прибыль на единицу произведённой строительной продукции.	1. Количество рабочего времени в неделю.
	2. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	3. Количество задействованной строительной техники.
	4. Степень совмещения строительных процессов.
	5. Выработка используемых машин и механизмов.
	6. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	7. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	8. Длительность ПР (как фактор, имеющий ФЭ характер).
	9. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ИСП
	10. Технология производства работ.
	11. Схема финансирования.

Продолжение табл. 2.2

1	2
3. Дисконтированная стоимость привлечения кредитных средств	1. Длительность ПР (как фактор, имеющий ФЭ характер).
	2. Количество рабочего времени в неделю.
	3. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	4. Количество задействованной строительной техники.
	5. Степень совмещения строительных процессов.
	6. Выработка используемых машин и механизмов.
	7. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	8. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	9. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ПР.
	10. Технология производства работ.
	11. Схема финансирования.
4. Стоимость ПР	1. Длительность ПР (как фактор, имеющий ФЭ характер).
	2. Количество рабочего времени в неделю.
	3. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	4. Количество задействованной строительной техники.
	5. Степень совмещения строительных процессов.
	6. Выработка используемых машин и механизмов.
	7. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	8. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	9. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ПР.
	10. Технология производства работ.
	11. Схема финансирования.

Продолжение табл. 2.2

1	2
5. Индекс доходности дисконтированных инвестиций	1. Длительность ПР (как фактор, имеющий ФЭ характер).
	2. Количество рабочего времени в неделю.
	3. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	4. Количество задействованной строительной техники.
	5. Степень совмещения строительных процессов.
	6. Выработка используемых машин и механизмов.
	7. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	8. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	9. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ПР.
	10. Технология производства работ.
	11. Схема финансирования.
6. Чистый дисконтированный доход	1. Длительность ПР (как фактор, имеющий ФЭ характер).
	2. Количество рабочего времени в неделю.
	3. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	4. Количество задействованной строительной техники.
	5. Степень совмещения строительных процессов.
	6. Выработка используемых машин и механизмов.
	7. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	8. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	9. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ПР.
	10. Технология производства работ.
	11. Схема финансирования.

Продолжение табл. 2.2

1	2
7. Максимальный денежный отток с учетом дисконтирования	1. Длительность ПР (как фактор, имеющий ФЭ характер).
	2. Количество рабочего времени в неделю.
	3. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	4. Количество задействованной строительной техники.
	5. Степень совмещения строительных процессов.
	6. Выработка используемых машин и механизмов.
	7. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	8. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	9. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ПР.
	10. Технология производства работ.
	11. Схема финансирования.
8. Соотношение интегральных дисконтированных затрат к интегральному дисконтированному объёму производства в стоимостном выражении	1. Длительность ПР (как фактор, имеющий ФЭ характер).
	2. Количество рабочего времени в неделю.
	3. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	4. Количество задействованной строительной техники.
	5. Степень совмещения строительных процессов.
	6. Выработка используемых машин и механизмов.
	7. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	8. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	9. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ПР.
	10. Технология производства работ.
	11. Схема финансирования.



Продолжение табл. 2.2

1	2
<p>9. Показатель организационно-технологического воздействия на финансовую реализуемость строительного проекта</p>	1. Длительность ПР (как фактор, имеющий ФЭ характер).
	2. Количество рабочего времени в неделю.
	3. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	4. Количество задействованной строительной техники.
	5. Степень совмещения строительных процессов.
	6. Выработка используемых машин и механизмов.
	7. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	8. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	9. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ПР.
	10. Технология производства работ.
	11. Схема финансирования.
<p>10. Степень совмещения графиков финансирования и графиков потребления финансовых ресурсов</p>	1. Длительность ПР (как фактор, имеющий ФЭ характер).
	2. Количество рабочего времени в неделю.
	3. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	4. Количество задействованной строительной техники.
	5. Степень совмещения строительных процессов.
	6. Выработка используемых машин и механизмов.
	7. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	8. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	9. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ПР.
	10. Технология производства работ.
	11. Схема финансирования.

Продолжение табл. 2.2

1	2
1.1. Стоимость привлечённых ресурсов	1. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	2. Количество задействованной строительной техники.
	3. Степень совмещения строительных процессов.
	4. Выработка используемых машин и механизмов.
	5. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	6. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	7. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ПР.
	8. Технология производства работ.
	9. Схема финансирования.
1.2. Выработка	1. Длительность ПР (как фактор, имеющий ФЭ характер).
	2. Количество рабочего времени в неделю.
	3. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	4. Количество задействованной строительной техники.
	5. Степень совмещения строительных процессов.
	6. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	7. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ПР.
	8. Технология производства работ.
	9. Схема финансирования.
1.3. Продолжительность строительно-монтажных работ	1. Количество рабочего времени в неделю.
	2. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	3. Количество задействованной строительной техники.
	4. Степень совмещения строительных процессов.
	5. Выработка используемых машин и механизмов.
	6. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	7. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	8. Технология производства работ.

Продолжение табл. 2.2

1	2
14. Интенсивность оплаты оперативных издержек	1. Количество рабочего времени в неделю.
	2. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	3. Количество задействованной строительной техники.
	4. Степень совмещения строительных процессов.
	5. Выработка используемых машин и механизмов.
	6. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	7. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	8. Технология производства работ.
15. Интенсивность (мощность) потока	1. Количество рабочего времени в неделю.
	2. Количество задействованных трудовых ресурсов.
	3. Количество задействованной строительной техники.
	4. Степень совмещения строительных процессов.
	5. Выработка используемых машин и механизмов.
	6. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	7. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	8. Технология производства работ.
16. Коэффициент неравномерности дви- жения рабочей силы	1. Степень совмещения строительных процессов.
	2. Выработка используемых машин и механизмов.
	3. Выработка используемых трудовых ресурсов в зависимости от квалификации.
	4. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	5. Количество задействованной строительной техники.
	6. Технология производства работ.
17. Коэф- фициент исполь- зования парка стр. машин	1. Количество рабочего времени в неделю.
	2. Количество задействованной строительной техники.
	3. Степень совмещения строительных процессов.
	4. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов).
	5. Технология производства работ.

Дадим определения всем показателям, приведённым в [таблице 2.2](#):

1. Интенсивность потребления финансовых ресурсов – условный показатель, рассчитываемый как частное от деления общей стоимости СМР на длительность периода строительства.
2. Прибыль проекта в целом – разность между расходами на проект реконструкции и доходами от ПР; прибыль на единицу произведённой строительной продукции – частное от деления прибыли от проекта в целом на единицу произведённой продукции.
3. Дисконтированная стоимость привлечения кредитных средств – суммарная стоимость использования кредитных денежных средств для производства ПР с учётом дисконтирования (суммарных выплат по процентным, налоговым ставкам) [34].
4. Суммарная стоимость ПР – количество денежных средств, выделяемых на ПР, включающее в себя:
  - расходы в течение периода строительства (стоимость используемых материалов, машин, механизмов, фонд оплаты труда, накладные расходы на обеспечение строительства: транспортные расходы, расходы на обеспечение безопасных условий труда, например, в ночное время);
  - условно постоянные расходы как расходы, не связанные с объёмом строительных работ;
  - расходы на оплату предоставляемых денежных средств (налоговые отчисления, оплата процентных ставок).
5. Индекс доходности дисконтированных инвестиций (другие названия – ИДД, рентабельность инвестиций, Profitability Index, PI) – отношение суммы дисконтированных элементов денежного потока от операционной деятельности к абсолютной величине дисконтированной суммы элементов денежного потока от инвестиционной деятельности [37]:

$$\text{ИДД} = \frac{\sum_m (\Pi_m - O_m) K_d}{\sum_m K_m K_d} \quad (2.2)$$

где  $\Pi_m$  – приток денежных средств на  $m$ -м шаге;

$O_m$  – отток денежных средств на  $m$ -м шаге;  
 $K_m$  – капиталовложения (инвестиции) на  $m$ -м шаге;  
Коэффициент дисконтирования на  $m$ -м шаге:

$$K_d = \frac{1}{(1 + E)^{t_m}} \quad (2.3)$$

где  $t_m$  –  $m$ -й шаг;  
 $E$  – норма дисконтирования.

На [рисунке 2.4](#) показана графическая интерпретация индекса доходности инвестиций.

6. Чистый дисконтированный доход (другие названия – интегральный экономический эффект, чистая текущая приведенная стоимость, чистая текущая стоимость, Net Present Value) – накопленный дисконтированный эффект за расчетный период [10]. ЧДД рассчитывается по следующей формуле:

$$\text{ЧДД} = \sum_m (\Pi_m - O_m) K_d \quad (2.4)$$

где  $\Pi_m$  – приток денежных средств на  $m$ -м шаге;  
 $O_m$  – отток денежных средств на  $m$ -м шаге.  
Коэффициент дисконтирования на  $m$ -м шаге.

$$K_d = \frac{1}{(1 + E)^{t_m}} \quad (2.5)$$

где  $t_m$  –  $m$ -й шаг;  
 $E$  – норма дисконтирования.

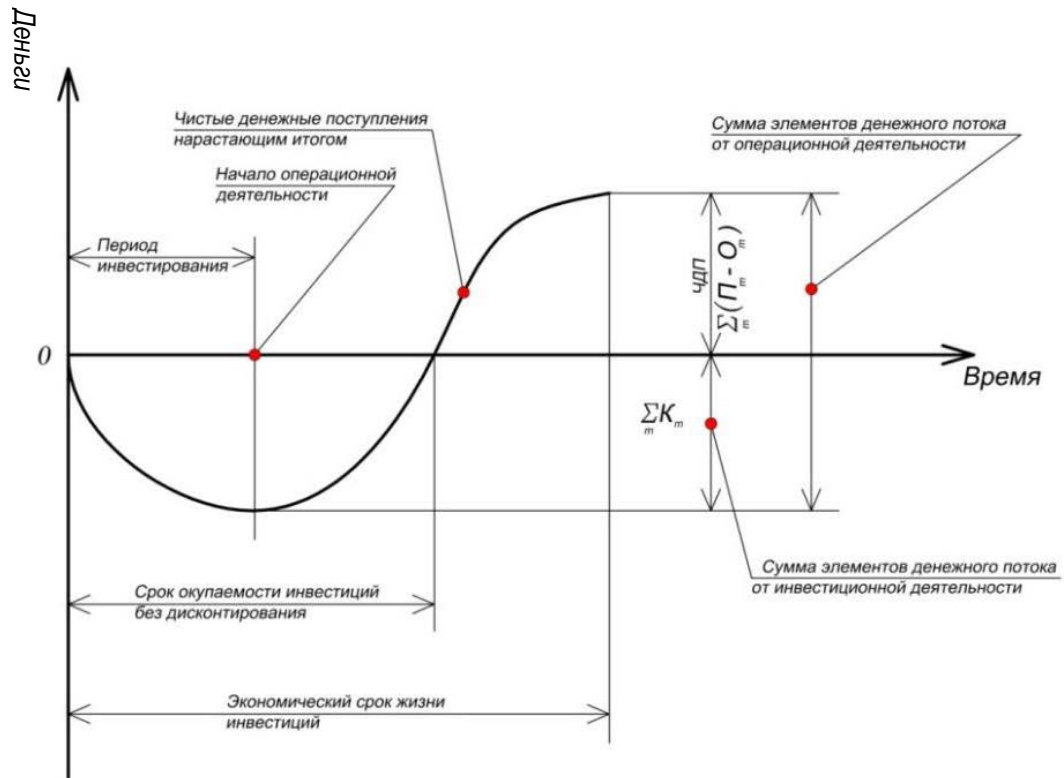


Рис 2.4 Графическая интерпретация индекса доходности

Чистый дисконтированный доход используется для сопоставления инвестиционных затрат и будущих поступлений денежных средств, приведенных в эквивалентные условия. Для определения чистого дисконтированного дохода прежде всего необходимо подобрать норму дисконтирования и, исходя из ее значения, найти соответствующие коэффициенты дисконтирования за анализируемый расчетный период. После определения дисконтированной стоимости притоков и оттоков денежных средств чистая текущая стоимость определяется как разность между указанными двумя величинами. Полученный результат может быть, как положительным, так и отрицательным.

Таким образом, чистая текущая стоимость показывает, достигнут ли инвестиции за экономический срок их жизни желаемого уровня отдачи:

- положительное значение чистой текущей стоимости показывает, что за расчетный период дисконтированные денежные поступления превысят дисконтированную сумму капитальных вложений и тем самым обеспечат увеличение рентабельности фирмы;
  - наоборот, отрицательное значение чистой текущей стоимости показывает, что проект не обеспечит получения нормативной (стандартной) нормы прибыли и, следовательно, приведет к потенциальным убыткам.
7. Максимальный денежный отток с учетом дисконтирования (потребность в финансировании с учетом дисконта, ДПФ) – максимальное значение абсолютной величины отрицательного накопленного дисконтированного сальдо от инвестиционной и операционной деятельности. Величина ДПФ показывает минимальный дисконтированный объем внешнего (по отношению к проекту) финансирования проекта, необходимый для обеспечения его финансовой реализуемости [10]. Графическая интерпретация данного показателя содержится на [рис. 2.5](#).
8. Соотношение интегральных дисконтированных затрат к интегральному дисконтированному объёму производства в стоимостном выражении. Предлагается использовать для оценки правильности установления или рациональности принятой технологии производства [10]. В приложении к строительной индустрии рассматривается объём произведённой строительной продукции в результате отдельного проекта, в течение срока договора субподряда или за заданный период.

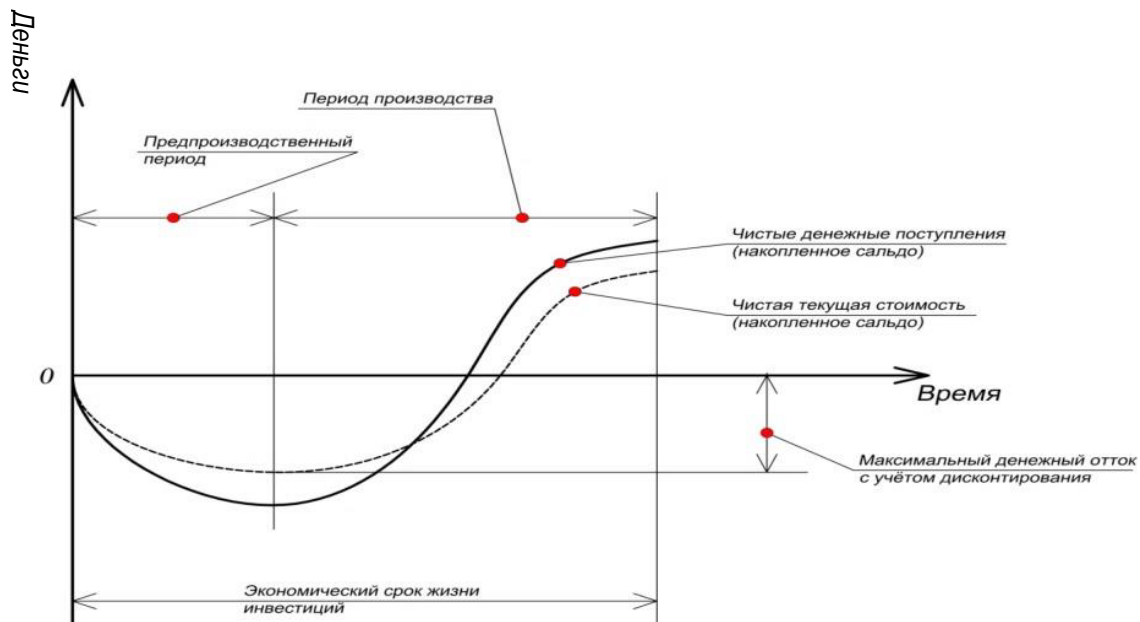


Рис 2.5 Графическая интерпретация максимального денежного оттока с учетом дисконтирования (ДПФ).



9. Показатель организационно-технологического воздействия на финансовую реализуемость проекта – интегральный показатель, актуальный при большой длительности периода строительства и поздних сроках получения прибыли. Показатель характеризует:
- максимальный денежный отток с учётом дисконтирования;
  - срок окупаемости инвестиций с учётом дисконтирования.

Показатель предлагается определять графически, исходя из [рисунка 2.6](#), показывающего срок окупаемости с учётом дисконтирования и максимальный отток денежных средств с учётом дисконтирования – путём вычисления определённого интеграла, рассчитывая площадь выделенной фигуры.

10. Степень совмещения графиков финансирования и графиков потребления финансовых ресурсов возможно определять с помощью следующих характеристик: отношение совпавшей площади графиков к площади несовпадения ([рис 2.7](#)); суммарное сальдо избытка/недостатка финансирования за период реализации ПР с учётом дисконтирования ([рис. 2.8](#)). Данный показатель позволяет сделать вывод об эффективности ФЭ стратегии реализации ПР.
11. Стоимость привлечённых ресурсов – суммарные издержки на трудовые ресурсы, машины и механизмы, используемые в процессе реализации ПР.
12. Выработка (в экономическом смысле) – относительный показатель, равный частному от деления суммарной стоимости ПР на суммарную трудоёмкость СМР [[3](#)].

Как показатель, выработка отображает рентабельность производства. Например, строительная организация имеет производственные мощности  $M$ , выражаемые в потенциально возможных затратах труда и/или машинного времени. В случае, если организация производит строительной продукции на сумму меньше, чем издержки на содержание производственных мощностей, она является нерентабельной.

13. Продолжительность строительно-монтажных работ – количество календарного времени от начала первой работы до окончания последней работы на всех захватках с учётом принятой технологической и организационной схемы производства работ.

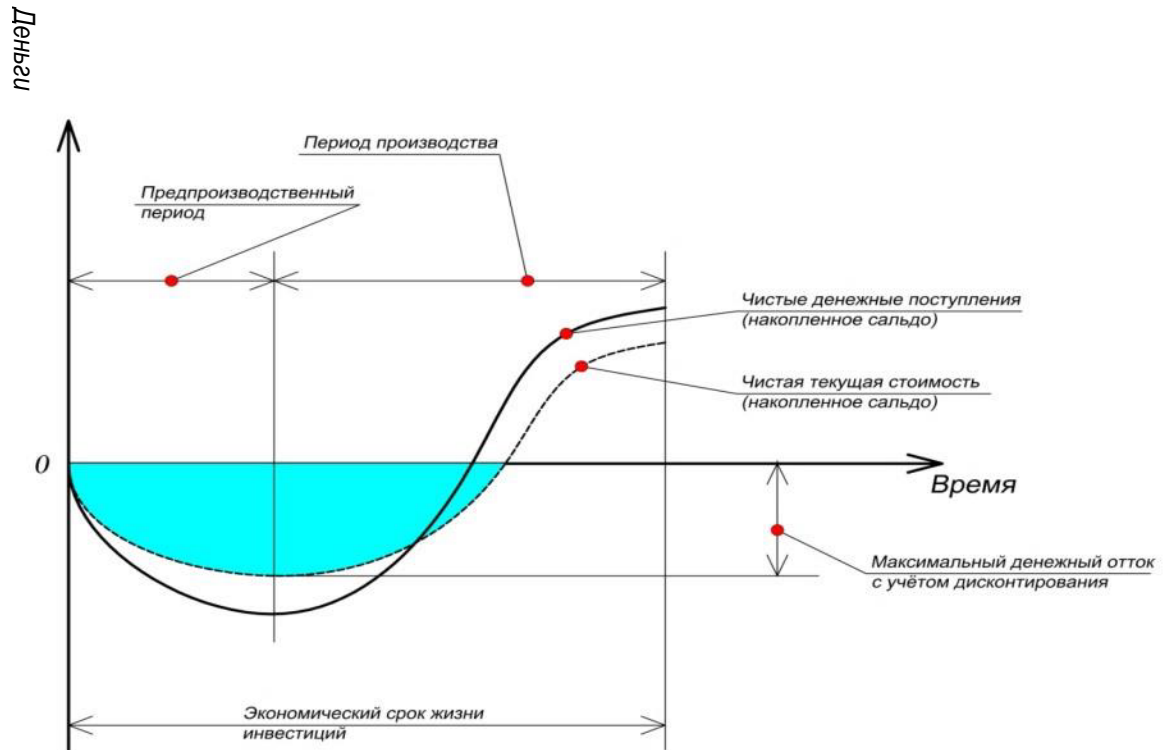


Рис. 2.6 Определение показателя организационно-технологического воздействия на финансовую реализуемость строительного проекта

[Содержание](#)

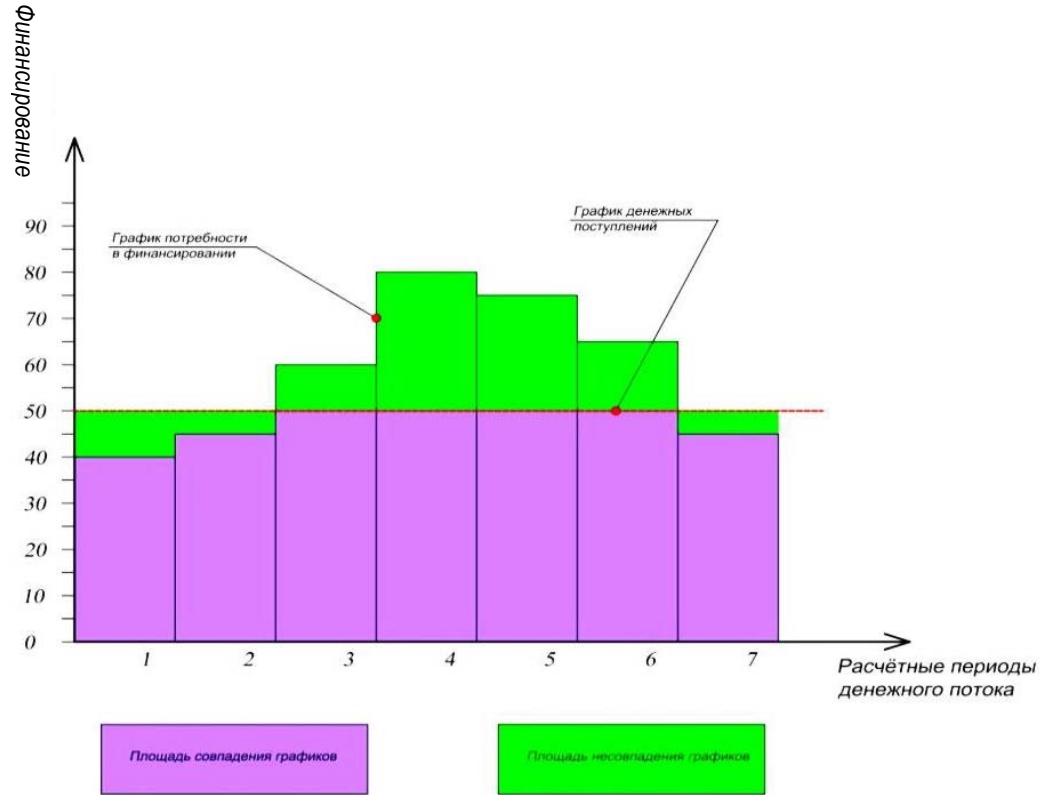


Рис. 2.7 Степень совмещения графиков финансирования и потребности в финансировании – площади совпадения/несовпадения

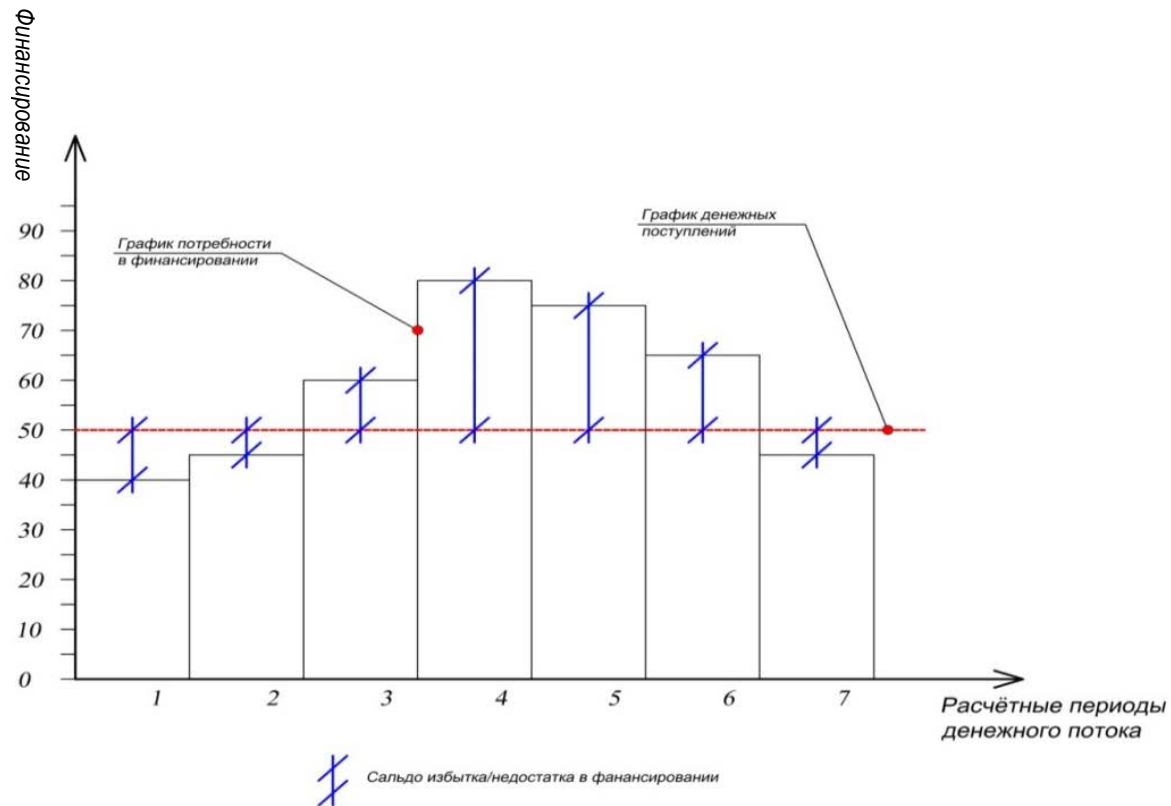


Рис. 2.8 Степень совмещения графиков финансирования и потребности в финансировании – суммарное сальдо избытка/недостатка финансирования за период реализации ИП с учётом дисконтирования

Длительность строительства может использоваться как фактор при проведении финансово-экономических (ФЭ) расчётов. В случае организационно-технологических (ОТ) расчётов является, как правило, показателем.

14. Интенсивность оплаты оперативных издержек – количество денежных средств в единицу времени, которые затрачиваются на обеспечение строительства: интенсивность потребления фонда оплаты труда, фонда оплаты аренды, амортизации плюс издержек на работу машин/механизмов, интенсивность расходов на материалы и дорогостоящие конструкции и т. п.
15. Интенсивность (мощность) строительного потока – определяется количеством строительной продукции, выпускаемой потоком за единицу времени и измеряемой в натуральных показателях. Для частного и специализированного потоков это могут быть кубические метры бетона, укладываемого в течение рабочего дня, квадратные метры оштукатуренной поверхности и т.д. Для производственного потока в целом – квадратные метры жилой площади ( $\text{м}^2/\text{день}$ ) или кубические метры здания ( $\text{м}^3/\text{день}$ ), определяемые в процессе строительства условно в зависимости от степени готовности объекта [3].
16. Коэффициент неравномерности движения рабочей силы,  $n$  – характеризует равномерность потребления людских ресурсов и определяется отношением  $A_{max}$  к  $A_{cp}$  [3]:

$$n = \frac{A_{max}}{A_{cp}} \quad (2.6)$$

где  $A_{max}$  – максимальное количество рабочих на объекте за период строительства;

$A_{cp}$  – среднее число рабочих за период строительства.

17. Коэффициент использования парка строительных машин – относительный показатель, который определяется как частное от деления фактически отработанных машино-дней на календарное количество машино-дней нахождения машин и механизмов на строительной площадке [3].

Охарактеризуем факторы, приведённые в [таблице 2.2](#). В перечне ниже факторы проранжированы по нисходящей по критерию наибольшей значимости, в качестве которого принято наибольшее количество показателей, на который влияет фактор.

1. Степень совмещения строительных процессов можно варьировать с помощью следующих характеристик:

*Коэффициент смещения работ* – рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{\sum t_{\text{смещ.}}}{\sum t_{\text{проц.}}} * 100\% \quad (2.7)$$

где:

$\sum t_{\text{смещ.}}$  – суммарный резерв времени, высвободившийся в результате смещения работ между собой.

$\sum t_{\text{проц.}}$  – суммарная продолжительность всех процессов на всех захватках при их последовательном выполнении.

$t_{\text{оконч.}}$  – длительность комплекса строительных работ, полученная в результате смещения работ между собой

Корректное использование данной характеристики возможно только при расчёте всех величин для каждой модели ПР, рассчитанной согласно плану эксперимента [3].

*Коэффициент совмещения процессов*  $K_{\text{сов}}$  определяется отношением разности суммарной величины рабочего времени всех процессов на всех захватках и срока строительства  $T_c$  к той же величине рабочего времени по формуле [3]:

$$K_{\text{сов}} = \frac{\sum_1^N \sum_1^n t_i - T_c}{\sum_1^N \sum_1^n t_i} \quad (2.8)$$

где  $N$  – количество процессов;  $n$  – количество захваток при организации потока,  $t_i$  – длительность  $i$ -го потока.

Коэффициент плотности потока  $K_{пл}$  определяется отношением суммарной величины рабочего времени всех составляющих потоков  $\sum_1^N \sum_1^n t_i$  к этой же сумме с учетом общей продолжительности всех технологических, организационных и начальных организационных перерывов  $t_{пер}$  между смежными специализированными потоками по формуле [3]:

$$K_{пл} = \frac{\sum_1^N \sum_1^n t_i}{\sum_1^N (\sum_1^n t_i + \sum_1^n t_{пер})} \quad (2.9)$$

где  $N$  – количество процессов;  $n$  – количество захваток при организации потока;  $t_{пер}$  – длительность технологических, организационных и начальных организационных перерывов,  $t_i$  – длительность  $i$ -го потока. Коэффициент совмещения работ  $K_{совм}$  – отношение длительности периода строительства  $T_c$  и суммарной величины рабочего времени всех процессов на всех захватках  $\sum_1^N \sum_1^n t_i$  [64].

$$K_{совм} = \frac{T_c}{\sum_1^N \sum_1^n t_i} \quad (2.10)$$

Коэффициент совмещенности работ рассчитывается по формуле:

$$K_c = \frac{C}{T} \quad (2.11)$$

где  $C$  – совмещенность работ, которая определяется по формуле:

$$C = \sum n P \quad (2.12)$$

-  $T$  – продолжительность ремонтно-строительных работ.  $n$  – количество дней, в которых совмещаются работы;  $P$  – количество работ, которые совмещаются.

Продолжительность организационных перерывов –  $t_{\text{орг}}$  обусловлена необходимостью подготовки фронта работ для начала строительных процессов [3].

2. Продолжительность технологических перерывов (в зависимости от используемых материалов) –  $t_{\text{тех}}$  обусловлена требованиями технических условий на производство работ, характером укладываемых материалов и др. [1].
3. Количество задействованной строительной техники – можно варьировать с помощью следующих характеристик:

- количество машин/механизмов, назначенных на каждую работу (или на работы, находящиеся на критическом пути);
- максимальное количество машин/механизмов, находящихся на объекте за период строительства, в стоимостном выражении (максимальный уровень интенсивности оплаты аренды, амортизации плюс издержек на работу машин/механизмов) [30];
- уровень механизации – процентное отношение затрат механизированного труда к общей трудоемкости [30];
- уровень механовооруженности строительства – отношение балансовой стоимости используемых машин, установок и механизмов  $C_m$  к общему объему работ, выполняемых собственными силами –  $C_{\text{общ}}$  [30]:

$$M = \frac{C_m}{C_{\text{общ}}} \quad (2.13)$$

- уровень механовооруженности труда – отношение  $C_m$  к общему числу рабочих  $Ч$  [30]:

$$M_p = \frac{C_m}{Ч} \quad (2.14)$$

4. Выработка используемых машин и механизмов – можно варьировать с помощью соотношения количества произведённой продукции к суммарным затратам машинного времени.



5. Выработка используемых трудовых ресурсов – можно варьировать с помощью соотношения количества произведённой продукции к суммарным трудозатратам.

Факторы 4 и 5 отображают сравнительную целесообразность использования более производительной и более дорогой техники и/или более квалифицированных трудовых ресурсов в совокупности с другими факторами. Они могут быть рассчитаны как в натуральных, так и денежных единицах.

6. Количество рабочего времени в неделю – можно варьировать с помощью следующих характеристик:

- количество рабочих дней в неделю;
- количество рабочих часов или смен в сутки;
- коэффициент использования календарного времени (отношение суммарного количества рабочего времени за рассматриваемый период времени к календарной длительности периода) [63].

7. Количество задействованных трудовых ресурсов – можно варьировать с помощью следующих характеристик:

- количество звеньев/бригад, назначенных на каждую работу (или на основные работы, находящиеся на критическом пути);
- максимальное количество рабочих, находящихся на объекте за период строительства;
- среднее количество рабочих  $A_{cp}$ :

$$A_{cp} = \frac{\sum_1^n A_i t_i}{T} \quad (2.15)$$

где  $A_i$  – численное количество рабочих на  $i$ -м участке графика движения рабочей силы, чел.;  $t_i$  – продолжительность  $i$ -го участка графика движения рабочей силы, дн.;  $T$  – общая продолжительность работ по потоку, дн.;  $n$  – количество участков на графике движения рабочей силы, на протяжении которых количество рабочих постоянно [52].

8. Соотношение заёмных и собственных средств, используемых для финансирования ПР – возможно варьировать с помощью коэффициента автономии – степени независимости от изменения параметров финанси-

рования, который рассчитывается как отношение объёма собственных к объёму заёмных средств в структуре финансирования проекта.

Данный фактор позволяет определить ФЭ стратегию проекта. Его колебание показывает изменение стоимости использования финансовых средств различного происхождения: кредитных – при вычислении их стоимости как дисконтированной суммы выплат по процентам; собственных – при вычислении их стоимости как выгоды от упущенных альтернативных проектов.

9. Длительность ПР, как фактор, влияет на следующие показатели:

- интенсивность финансирования;
- прибыль проекта в целом или прибыль на единицу произведённой строительной продукции;
- дисконтированная стоимость привлечения кредитных средств, стоимость ПР;
- выработка (при экономической интерпретации);
- индекс доходности дисконтированных инвестиций;
- чистый дисконтированный доход;
- максимальный денежный отток с учетом дисконтирования;
- соотношение интегральных дисконтированных затрат к интегральному дисконтированному объёму производства в стоимостном выражении;
- показатель организационно-технологического воздействия на финансовую реализуемость проекта;
- стоимость привлечённых ресурсов;
- интенсивность оплаты оперативных издержек.

Например, на стоимость ПР влияет как фактор посредством следующих явлений [44]:

- Изменение суммы условно постоянных расходов при изменении длительности периода строительства.
- Эффект снижения экономической стоимости денег во времени (дисконтирование) и покупательской способности денег (инфляция).
- Неравномерность распределения средств внутри расчётных периодов бизнес-плана и связанные с этим проблемы дисконтирования и др.

Длительность строительства может использоваться как фактор при проведении финансово-экономической (ФЭ) оценки результатов организационно-

технологического моделирования. При организационно-технологическом (ОТ) моделировании является, как правило, показателем.

Охарактеризуем факторы, имеющие комплексный характер воздействия на ПР:

- Технология производства работ. Фактор позволяет сравнить технологии, механизмы и материалы для реализации работ по ОТ и ФЭ критериям. Может включать в себя сравнение использования:
  - различные методы производства основных работ (в том числе при использовании различных видов машин, механизмов, технологической оснастки и материалы для реализации выбранных технологий);
  - различные сочетания выбранных технологий, материалов и механизмов, которые используются на разных захватках или объектах производства работ в рамках одного ПР.
- Схема финансирования. Использование этого фактора позволяет сделать ФЭ сравнение методов и способов финансирования ПР. Это могут быть перечисленные ниже схемы:
  - С помощью заёмных средств (в том числе различных схем кредитного финансирования).
  - С помощью разных видов собственных средств:
    - полное внутреннее самофинансирование;
    - акционирование;
    - привлечение большого количества инвесторов (например, при жилищном строительстве);
    - венчурное финансирование – предоставление средств в обмен на долю прибыли.
  - С помощью схем финансирования, использующих разные соотношения заёмного и собственного капитала и др.

Использование перечисленных выше факторов в экспериментально-статистическом моделировании сопряжено с определёнными трудностями, среди которых следующие:

- сложность выбора характеристики варьирования вследствие комплексного характера воздействия факторов на показатели;
- сложность корректного назначения уровней варьирования факторов при выборе технико-экономических альтернатив;
- большая трудоёмкость создания экспериментально-статистических моделей при учёте комплексного воздействия факторов на показатели проекта реконструкции;
- необходимость большого количества факторов и уровней их варьирования для решения отдельных задач, что приводит к усложнению математического аппарата ЭС-моделирования;

Так как указанные факторы имеют комплексный характер влияния на показатели ПР и обладают большой вариабельностью, выбор характеристики их варьирования должен осуществляться индивидуально для каждого организационно-экономического расчёта, на основании исходных данных и поставленных оптимизационных задач. Для решения проблемы выбора характеристики варьирования предлагается использовать следующие правила:

1. В общем случае характеристика варьирования каждого фактора должна быть независима от других факторов, использующихся при ЭС-моделировании, однако существуют планы с взаимозависимыми факторами ([см. табл. 2.1](#)).
2. Характеристика варьирования должна однозначно определять уровень варьирования и его корректное расположение в факторном пространстве.
3. Характеристика варьирования должна быть проста в расчёте и очевидна в понимании, а также, по возможности, иметь абсолютный, а не относительный характер.

## **Выводы по разделу 2**

1. Анализ информационных источников по теме исследования говорит о возможности и необходимости оптимизации организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений.
2. Разработанный алгоритм может быть использован для оптимизации организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений.
3. Использование теории планирования экспериментов позволяет значительно сократить количество разрабатываемых моделей проектов реконструкции, а экспериментально-статистическое моделирование – получить достоверные результаты в оптимизационных расчётах.
4. Классификация возможных показателей и факторов, совершенствование методов их подбора и формализации, предложенные методы интерпретации результатов исследования могут быть использованы для решения оптимизационных задач при реконструкции высотных инженерных сооружений.

### 3. ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Анализ состояния высотных сооружений в Украине и за её пределами ([подраздел 1.1](#)) показал, что большинство из них эксплуатируются много лет и требуют восстановительных работ. Но даже при их удовлетворительном состоянии могут возникнуть аварийные ситуации. Примером этому может служить пожар на Винницкой телебашне.

Среди высотных сооружений Украины одним из наиболее значимых является скульптура «Родина-мать». В случае аварийной ситуации реконструкционные работы на этом объекте могут потребовать специального организационного режима проведения. Подобные проблемы возникли при реконструкции Останкинской телебашни, поэтому она может служить примером высотного инженерного сооружения, выбор рациональных организационных решений реконструкции которого требуется. В настоящем разделе приведены результаты такой оптимизации на реальном примере.

#### 3.1 Результаты технического обследования объекта реконструкции

##### *Описание конструкции башни.*

Останкинская телевизионная башня представляет собой сложное инженерно-техническое сооружение высотой 540,1 м., состоящее из железобетонной части высотой 385,5 м. и стальной части длиной 154,6 м. Останкинская телевизионная башня предназначена для размещения передающих радиотелевизионных станций аппаратно-студийного комплекса Московского регионального центра филиала Федерального государственного унитарного предприятия «Российская телевизионная и радиовещательная сеть» (далее МРЦ ФГУП «РТРС»). Комплекс «Останкинская телебашня» предоставляет услуги по эфирному телевизионному и радиовещанию, услуги радиорелейной и космической связи, радиосвязи различного назначения, метеорологические услуги, а также экскурсионные услуги населению.

##### *Общие выводы технического обследования.*

При восстановлении и реконструкции телебашни необходимо учитывать уникальность и стесненность объекта, а именно:

##### [Содержание](#)

- производство строительно-монтажных работ осуществляется на действующем предприятии в стесненных условиях с наличием в зоне производства действующего технологического оборудования и загромождающих предметов, вблизи оборудования, находящегося под напряжением, в помещениях, где внутренняя проводка не обесточена;
- сложность вертикального транспорта конструкций и материалов, необходимость подъема по лестнице с углом  $30^\circ$  и  $45^\circ$ ;
- наличие в непосредственной близости от зоны большого количества действующих коммуникаций, повреждение которых недопустимо;
- трудности при выполнении электросварочных и других огнеопасных работ;
- имеется большое количество мест, где необходимо выполнять работы по ремонту, доступ к которым крайне затруднен и требует много времени на обустройство рабочих мест;
- перенос вручную инструмента, электроинструмента, пневмоинструмента на рабочую отметку;
- работа в действующей электроустановке – электросиловой шахте;
- отсутствие зоны складирования материалов на рабочей отметке;
- Рекомендации по производству реконструкционных работ.

Комплексом решений по проведению первого этапа реконструкции предусматривается:

- Устройство пожаробезопасных зон.
- Огнезащита ограждающих конструкций эвакуационной лестницы с отм. -6,9 м. до отм. +357,8 м.
- Реконструкция стилобата с устройством гидроизоляции. Стилиблатная часть фундамента Останкинской телебашни представляет собой кольцеобразную конструкцию с радиусами 12,5 м. и 45,12 м. Под данной конструкцией в радиусах 12,5 м. и 23,83 м. находятся подвальные помещения технических служб эксплуатации Останкинской телебашни. В пределах радиусов 23,83 м. и 45,12 м. находится грунт обратной засыпки. С внешней стороны ( $R=45,12$  м.) стилобат имеет вертикальную подпорную стену, выполненную из фундаментных блоков СБ-4-24 и облицованную гранитными плитами.

- Реконструкция и герметизации конструкций кабельного и технологического коллекторов.
- Приспособление существующих помещений ТП-5, ТП-6, ТП-7 для установки нового оборудования трансформаторных подстанций.
- Замена существующих комплектных однострановых подстанций ТП-5, ТП-6, ТП-7.
- Замена в каждой ТП существующих распределительных шкафов.
- Замена существующих приборов отопления.
- Устройство контуров заземления трансформаторных подстанций ТП-5, ТП-6 и ТП-7.
- Прокладка кабелей напряжением 10 кВ для подключения трансформаторных подстанций ТП-5, ТП-6 и ТП-7 к существующему РП 10 кВ и контрольных кабелей.
- Электроснабжение пожаробезопасных зон.
- Электроснабжение электрооборудования индивидуального теплового пункта.
- Электроснабжение насосной станции водяного пожаротушения.
- Устройство систем водоснабжения пожаробезопасных зон.
- Замена коммуникаций системы водоснабжения, проходящих под стилобатной частью башни.
- Устройство системы бытовой канализации пожаробезопасных зон, предназначенной для отвода стоков от санитарно-технических приборов.
- Реконструкция ИТП в тепломеханической части, части электрооборудования, автоматизации.
- Реконструкция системы отопления помещений Останкинской телебашни.
- Замена коммуникаций теплотрассы, проходящих по кабельному коллектору.
- Устройство естественной вентиляции в коллекторах.
- Устройство системы вентиляции в пожаробезопасных зонах.
- Устройство системы отопления пожаробезопасных зон.

Ввиду перечисленных выше ограничений для производства работ может потребоваться использование специального организационного режима производства работ – в ночную смену, с перерывами в течение рабочей недели для



осуществления мероприятий по эксплуатации башни. Технологическая независимость некоторых комплексов работ позволяет рассматривать вариант их взаимного совмещения во времени.

### **3.2 Особенности объекта реконструкции, влияющие на выбор наиболее значимых показателей и факторов**

Останкинская телебашня является неотъемлемой частью инфраструктуры и архитектурного наследия в Российской Федерации. Она – одно из наиболее высоких сооружений данного типа в мире. Башня имеет нестандартные конструктивные решения. Особенности производства работ и нестандартные решения значительно усложняют процесс реконструкции. К основным особенностям объекта реконструкции в данном случае можно отнести следующие:

- производство строительно-монтажных работ осуществляется на действующем предприятии в стесненных условиях с наличием в зоне производства действующего технологического оборудования и загромождающих предметов, вблизи оборудования, находящегося под напряжением, в помещениях, где внутренняя проводка не обесточена;
- необходимость в максимальном сокращении продолжительности работ путём совмещения реконструкционных работ, не связанных между собой технологически;
- необходимость учёта суточного ограничения по времени целого ряда работ в силу большой высоты телебашни;
- ограничение по срокам в соответствии с проектом организации строительства составляет 23 месяца, из них 4 месяца на подготовительный период;
- государственная значимость объекта определяет необходимость выполнения основных работ по реконструкции силами одной компании, что предполагает сосредоточение всех ее резервов на выполнении данного проекта, в результате чего возможна концентрация условно-постоянных расходов, связанных с выполнением работ на Останкинской телебашне;
- сложность с организацией большинства технологических процессов реконструкции вследствие близости или концентрации действующих

коммунальных сетей, а также в результате стесненных условий выполнения работ, отсутствия площадок складирования материалов на большей части рабочих отметок.

В результате анализа особенностей рассматриваемого объекта и условий производства работ были формализованы влияющие факторы, которые, в большинстве своем, включают принятие мер, необходимых для учета перечисленных сложностей реконструкции.

### **3.3 Методика оптимизации организационных решений реконструкции. Выбор наиболее значимых показателей и факторов**

Для проведения численного эксперимента путем экспериментально-статистического моделирования необходимо выполнить расчет с построением соответствующих моделей строительного процесса (календарных графиков производства), а также рассчитать математическую модель путем использования программы «Сопрех». Для наиболее точного построения моделей строительного производства необходимо тщательное изучение проектно-сметной документации реконструкции Останкинской телебашни, а также учёт объёмно-планировочного решения, результатов технических обследований, действующих норм техники безопасности и охраны труда. В процессе технико-экономического сравнения были проработаны различные схемы организации производства работ, учитывающие выявленные особенности объекта реконструкции. Представленный ниже численный эксперимент даёт количественную оценку альтернатив технологических решений при изменяющихся вариантах организации процесса реконструкции.

Блок-схема методики исследования по выбору оптимальных организационных решений реконструкции Останкинской телебашни показана на [рисунке 3.1](#). Подробный алгоритм проведения подобных исследований приведён в [подразделе 2.2](#).

Проведение оптимизационного расчета подразумевает выбор показателей, максимально значимых для проекта реконструкции объекта, а также факторов, непосредственно влияющих на эти показатели.

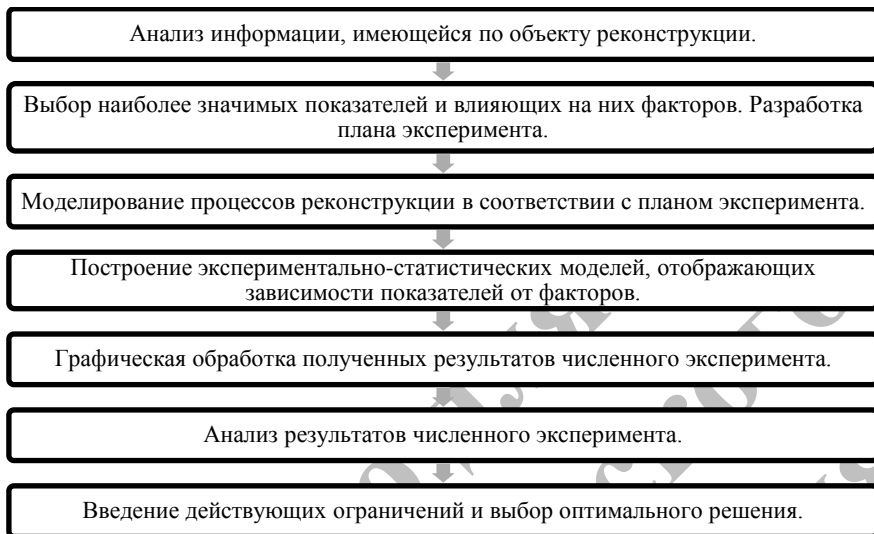


Рис. 3.1 Блок-схема методики исследования

С учётом выявленных особенностей наиболее значимыми являются следующие показатели:

1.  $Y_1$ , продолжительность выполнения строительно-монтажных работ – количество календарного времени от начала первой работы до окончания последней работы на всех захватках с учётом принятой организационной схемы производства реконструкционных работ;
2.  $Y_2$ , стоимость производства строительно-монтажных работ – количество денежных средств, выделяемых на реконструкцию объекта. Она включает следующие статьи затрат:
  - сметные расходы на период проведения реконструкции объекта (затраты на используемые материалы, машины, механизмы)
  - условно-постоянные расходы фирмы, которые не зависят от объёмов выполняемых работ (амортизация основных средств и нематериальных активов, расходы на аренду и содержание офисных, производственных и складских помещений, лизинговые платежи, расходы на управление и организацию производства, оплата некоторых видов услуг сторонних организаций и т. д.). Условно-постоянные расходы приняты в ценах 2015 г., без учёта инфляции.

Значение общей стоимости общестроительных работ рассчитывается по формуле:

$$OC = C + УПР * П \quad (3.1)$$

где:

OC – общая стоимость общестроительных работ, выраженная в рублях;  
C – стоимость основных расходов в течении периода реконструкции объекта, руб.;

УПР – варьируемая величина условно-постоянных расходов (соответственно матрице эксперимента), руб.;

П – продолжительность СМР, выраженная в месяцах;

3.  $Y_3$ , интенсивность финансирования проекта реконструкции – относительный показатель, полученный в результате деления суммарной стоимости общестроительных работ на длительность периода строительства, выраженный в месяцах.

На выбранные показатели наибольшее влияние оказывают следующие факторы:

1.  $X_1$ , количество рабочих смен в сутки – при разработке плана эксперимента было предусмотрено выполнение работ в одну, две и три смены. Этот фактор имеет основное влияние на продолжительность реконструкционных работ, что в свою очередь изменяет стоимость и интенсивность финансирования процесса реконструкции.
2.  $X_2$ , количество рабочих дней в неделю – в данной работе рассмотрены варианты организации рабочего процесса 3, 5 и 7 дней в неделю. Фактор также, посредством изменения продолжительности строительства, влияет на экономические показатели строительства. Три рабочих дня в неделю рассматривались в связи с возможными трудностями по увязке строительно-монтажных работ с организацией работы самого объекта.
3.  $X_3$ , коэффициент совмещенности работ – отношение суммарной длины периодов смещения между парами предыдущих и последующих работ к суммарной продолжительности всех процессов на всех захватках [49].

$$K = \frac{\sum t_{\text{смещ.}}}{\sum t_{\text{проц.}}} * 100\% = \frac{\sum t_{\text{проц.}} - t_{\text{оконч.}}}{\sum t_{\text{проц.}}} * 100\% \quad (3.2)$$

где:

$\sum t_{\text{смещ.}}$  – суммарный резерв времени, высвободившийся в результате смещения работ между собой.

$\sum t_{\text{проц.}}$  – суммарная продолжительность всех процессов на всех захватках.

$t_{\text{оконч.}}$  – длительность комплекса строительных работ, полученная в результате смещения работ между собой.

Коэффициент, по сути, характеризует, насколько сократилась общая длительность комплекса строительных работ по сравнению со случаем, когда все процессы на всех захватках увязаны последовательно.

4.  $X_4$ , величина условно-постоянных расходов – расходы предприятия на производство продукции, которые слабо зависят от объема производимой продукции.

В [таблице 3.1](#) приведена матрица планирования эксперимента, которая соответствует сокращенному плану проведения исследования. Графики производства работ, построенные согласно матрице, приведены в [приложении](#).

### 3.4 Планирование численного эксперимента

4-х факторный эксперимент можно с достаточной степенью точности реализовать по 25-ти точечному плану, хотя полный факторный эксперимент при варьировании 4-х факторов включает 81 точку [[50](#)].

Таким образом, за счет оптимального планирования эксперимента возможно значительно сократить число необходимых натуральных или вычислительных исследований для получения достоверных ЭС-моделей, позволяющих комплексно проанализировать изучаемую систему или объект. Применение методов планирования эксперимента является мощным методом повышения эффективности и достоверности научных изысканий, в том числе в технологии и организации строительного производства [[52](#), [55](#), [60](#)].

Таблица 3.1

Матрица эксперимента

№ точки	Нормализованные значения факторов				Натуральные значения факторов			
	X <sub>1</sub> Кол-во смен в сутки	X <sub>2</sub> Кол-во рабочих дней в неделю	X <sub>3</sub> Коэффициент совмещения работ, %	X <sub>4</sub> Величина условно-постоянных расходов (УПР), руб./мес.	X <sub>1</sub> Кол-во смен в сутки, ед.	X <sub>2</sub> Кол-во рабочих дней в неделю, дн.	X <sub>3</sub> Коэффициент совмещения работ, %	X <sub>4</sub> Величина условно-постоянных расходов (УПР), руб./мес.
	1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	3	7	63	700
2	1	1	1	-1	3	7	63	300
3	1	1	-1	1	3	7	0,00	700
4	1	1	-1	-1	3	7	0,00	300
5	1	-1	1	1	3	3	63	700
6	1	-1	1	-1	3	3	63	300
7	1	-1	-1	1	3	3	0,00	700
8	1	-1	-1	-1	3	3	0,00	300
9	-1	1	1	1	1	7	63	700
10	-1	1	1	-1	1	7	63	300
11	-1	1	-1	1	1	7	0,00	700
12	-1	1	-1	-1	1	7	0,00	300
13	-1	-1	1	1	1	3	63	700
14	-1	-1	1	-1	1	3	63	300
15	-1	-1	-1	1	1	3	0,00	700
16	-1	-1	-1	-1	1	3	0,00	300
17	1	0	0	0	3	5	32	500
18	-1	0	0	0	1	5	32	500
19	0	1	0	0	2	7	32	500
20	0	-1	0	0	2	5	32	500
21	0	0	1	0	2	5	63	500
22	0	0	0	1	2	5	32	700
23	0	0	-1	0	2	5	0,00	500
24	0	0	0	-1	2	5	32	300
25	0	0	0	0	2	5	32	500

Для количественной оценки и анализа зависимостей между показателями и влияющими на них факторами были построены экспериментально-статистические модели, представляющие собой математические зависимости в виде полинома второй степени. Для 4-х факторного эксперимента эта модель имеет вид:

$$\begin{aligned} Y = & b_0 + b_1x_1 + b_{11}x_1^2 + b_{12}x_1x_2 + b_{13}x_1x_3 + b_{14}x_1x_4 \\ & + b_2x_2 + b_{22}x_2^2 + b_{23}x_2x_3 + b_{24}x_2x_4 \\ & + b_3x_3 + b_{33}x_3^2 + b_{34}x_3x_4 \\ & + b_4x_4 + b_{44}x_4^2 \end{aligned} \quad (3.3)$$

Коэффициенты при независимых переменных указывают на силу влияния факторов. Чем больше численная величина коэффициента, тем большее влияние оказывает фактор. Если коэффициент имеет знак плюс, то с увеличением значения фактора параметр оптимизации увеличивается и наоборот. Величина коэффициента соответствует вкладу данного фактора в величину параметра оптимизации при переходе фактора с нулевого уровня на верхний или нижний.

Для четырехфакторного эксперимента в качестве графического отображения ЭС-моделей наиболее рационально и наглядно применять диаграмму типа «квадрат в квадрате». Это модель отображает влияние уровней варьирования факторов на значения исследуемых показателей. Для ее визуализации строят 9 двухфакторных диаграмм в виде квадратов, отображающих зависимости между  $X_1$  (количеством рабочих смен в день) и  $X_2$  (количеством рабочих дней в неделю), затем формируют из них четырехфакторную диаграмму помещая уже построенные квадраты на оси  $X_3$  (коэффициент совмещенности работ) и  $X_4$  (величина условно-постоянных расходов) в соответствии с [рис. 3.2](#).

Применение математического моделирования позволило получить в работе адекватные модели при изменении факторов на трех уровнях: минимальном, максимальном и среднем. Такие модели использованы в работе для прогнозирования изучаемых показателей в любой точке исследуемой области. Использование теории ЭС-моделирования позволило построить достоверные модели зависимости между несколькими изучаемыми факторами и показателями в количественном выражении. Использование теории сокращенного экс-

перимента позволило снизить трудоёмкость и обеспечить достаточную точность исследования.

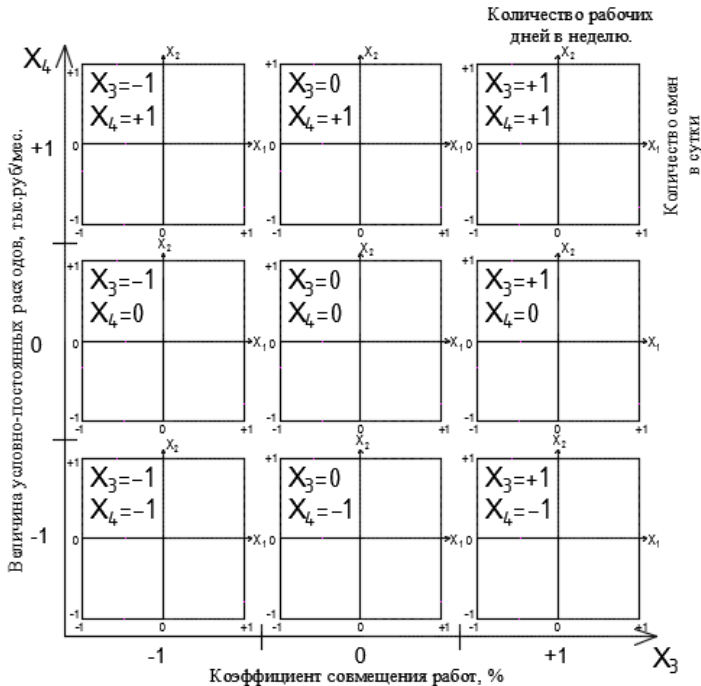


Рис. 3.2 Схема построения диаграммы типа «квадрат в квадрате»

### 3.5 Основные результаты исследования

В настоящем подразделе приведены результаты исследования по определению оптимальных организационных режимов реализации проекта реконструкции Останкинской телебашни. Приведём исследуемые показатели проекта реконструкции, признанные наиболее важными в рамках настоящего исследования (подробнее в [подразделе 3.2](#)):

- продолжительность выполнения строительно-монтажных работ (СМР) –  $Y_1$ ;
- стоимость производства строительно-монтажных работ (СМР) –  $Y_2$ ;
- интенсивность финансирования проекта реконструкции –  $Y_3$ .



Факторами, обладающими наибольшей степенью влияния на исследуемые показатели, являются (подробнее в [подразделе 3.2](#)):

- количество рабочих смен в сутки –  $X_1$ ;
- количество рабочих дней в неделю –  $X_2$ ;
- коэффициент совмещения работ –  $X_3$ ;
- величина условно-постоянных расходов –  $X_4$ .

По результатам построения моделей проекта реконструкции (календарных графиков производства работ) были исследованы показатели проекта реконструкции, изменяющиеся под влиянием организационных факторов. Результаты выполненного исследования приведены в [таблице 3.2](#).

### 3.6 Закономерности изменения выбранных показателей при варьировании исследуемых факторов

*Продолжительность выполнения строительно-монтажных работ.*

Закономерность изменения продолжительности выполнения СМР при реконструкции Останкинской телебашни в зависимости от варьируемых факторов адекватно описывается математической [моделью 3.4](#).

$$\begin{aligned} Y_1 = & 711 - 477,7 X_1 + 328,8 X_1^2 + 136,3 X_1 X_2 + 233 X_1 X_3 \\ & - 362,6 X_2 + 260,3 X_2^2 + 180,9 X_2 X_3 \quad \cdot \\ & - 590,5 X_3 + 49,8 X_3^2 \quad \cdot \quad \cdot \\ & + 3,7 X_4^2 \end{aligned} \quad (3.4)$$

Полученная аналитическая зависимость показывает, что максимальное влияние на исследуемый показатель продолжительности выполнения СМР оказывает  $X_3$  – коэффициент совмещения работ (коэффициент при  $X_3$  равен 590,5). Фактор  $X_4$  – величина условно-постоянных расходов – не оказывает влияние на продолжительность реконструкции, малое значение коэффициента при  $X_4$  объясняется погрешностью расчёта. Факторы  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю) и  $X_1$  (количество рабочих смен в сутки) оказывают существенное влияние на исследуемый показатель. Отрицательные знаки у коэффициен-

тов при  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  означают, что изменение этих факторов обратно пропорционально изменению  $Y_1$  (продолжительности выполнения СМР).

Таблица 3.2

Результаты численного эксперимента

№ точки	$X_1$ Количество рабочих смен в сутки	$X_2$ Количество рабочих дней в неделю	$X_3$ Коэффициент совмещения работ	$X_4$ Величина условно-постоянных расходов руб./мес.	$Y_1$ Продолжительность выполнения СМР, дни	$Y_2$ Стоимость производства СМР, руб.	$Y_3$ Интенсивность финансирования проекта, тыс. руб./мес.
1	2	3	4	5	6	7	8
1	1	1	1	1	382	536 955 338,87	42 169,27
2	1	1	1	-1	382	531 862 005,54	41 769,27
3	1	1	-1	1	939	549 952 005,54	17 570,35
4	1	1	-1	-1	939	537 432 005,54	17 170,35
5	1	-1	1	1	638	542 928 672,21	25 529,56
6	1	-1	1	-1	638	534 422 005,54	25 129,56
7	1	-1	-1	1	1633	566 145 338,87	10 400,71
8	1	-1	-1	-1	1633	544 372 005,54	10 000,71
9	-1	1	1	1	766	545 915 338,87	21 380,50
10	-1	1	1	-1	766	535 702 005,54	20 980,50
11	-1	1	-1	1	1970	574 008 672,21	8 741,25
12	-1	1	-1	-1	1970	547 742 005,54	8 341,25
13	-1	-1	1	1	1282	557 955 338,87	13 056,68
14	-1	-1	1	-1	1282	540 862 005,54	12 656,68
15	-1	-1	-1	1	3494	609 568 672,21	5 233,85
16	-1	-1	-1	-1	3494	562 982 005,54	4 833,85
17	1	0	0	0	655	538 958 672,21	24 685,13
18	-1	0	0	0	1414	551 608 672,21	11 703,15
19	0	1	0	0	693	539 592 005,54	23 358,96
20	0	-1	0	0	1239	548 692 005,54	13 285,52
21	0	0	1	0	409	534 858 672,21	39 231,69
22	0	0	0	1	743	545 378 672,21	22 020,67
23	0	0	-1	0	1102	546 408 672,21	14 875,01
24	0	0	0	-1	743	535 472 005,54	21 620,67
25	0	0	0	0	743	540 425 338,87	21 820,67

Весьма информативный метод оценки воздействия факторов на выходные параметры – это сравнение однофакторных ЭС-моделей, построенных в двух граничных (экстремальных) вариантах. Поэтому следующий этап анализа моделей, выполненный в работе, – это ранжирование факторов в подобластях максимума и минимума значений исследуемой функции. Для этого в работе выполнено сравнение однофакторных экспериментально-статистических моделей, построенных в двух граничных (экстремальных) вариантах. Верхние кривые, показанные на [рисунке 3.3](#), построены в плоскостях  $(Y, X_i)$ , проходящих через точку с максимальным значением функции  $Y$ . Для этого все факторы, кроме рассматриваемого, фиксировались на уровнях, соответствующих максимальному значению показателя продолжительности строительства. Кривые, расположенные снизу, построены в тех же плоскостях, но через точку с минимальным значением функции  $Y$ . В данном случае все факторы, кроме рассматриваемого, были зафиксированы на уровнях, соответствующих минимальному значению продолжительности выполнения СМР.

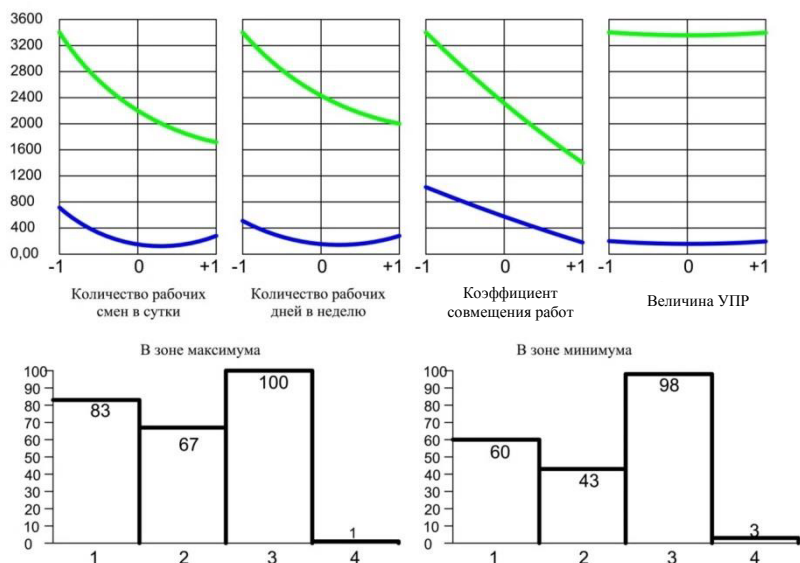


Рис. 3.3 Влияние организационных факторов на продолжительность выполнения СМР

Для оценки влияния каждого из факторов построены диаграммы ранжирования в областях минимума и максимума функции (нижняя часть [рис. 3.3](#)). В зоне экстремумов (минимальных и максимальных значений) показателя  $Y_1$  (продолжительность выполнения СМР) степень влияния факторов неоднозначна.

При максимальной продолжительности выполнения СМР степень влияния фактора  $X_3$  (коэффициент совмещения работ) максимальна и равна 100%, тогда как фактор  $X_1$  (количество рабочих смен в сутки) оказывает немного меньшее влияние на продолжительность строительства – 83%, фактор  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю) оказывает влияние в 67%.

В зоне минимума фактор  $X_3$  (коэффициент совмещения работ) оказывает максимальное влияние на рассматриваемый показатель (100%). Степень влияния фактора  $X_1$  (количество рабочих смен в сутки) – 60%, а фактора  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю) – 43%.

В зоне максимальных значений продолжительности выполнения СМР характер влияния всех факторов, кроме  $X_4$  (величина условно-постоянных расходов), явно выражен и имеет обратно пропорциональную зависимость. При изменении  $X_1$  от +1 (3 смены в сутки) до -1 (1 смена в сутки) продолжительность изменяется от 1650 дней до 3400 дней. Влияние фактора  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю) также носит характер обратно пропорциональной зависимости, но имеет меньшее влияние. Так, при вариации  $X_2$  от +1 (7 дней в неделю) до -1 (3 дня в неделю) продолжительность выполнения СМР изменяется от 2000 дней до 3400 дней. Фактор  $X_3$  (коэффициент совмещения работ) оказывает максимальное влияние на продолжительность выполнения СМР и носит такой же характер (обратно пропорциональная зависимость). В результате изменения  $X_3$  от +1 (коэффициент совмещенности работ равен 63%) до -1 (коэффициент совмещения работ равен 0%) продолжительность выполнения СМР изменяется от 1400 дней до 3400 дней. Влияние фактора  $X_4$  (величины условно-постоянных расходов) минимально и практически не приводит к численным изменениям продолжительности выполнения СМР.

В зоне минимальных значений факторы  $X_1$  (количество рабочих смен в сутки),  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю) и  $X_3$  (коэффициент совмещения работ) так же, как и в зоне максимальных значений, но с меньшей степенью, оказывают обратно пропорциональное влияние на продолжительность

выполнения СМР. Так, при изменении  $X_1$  от +1 (3 смены в сутки) до -1 (1 смена в сутки) продолжительность выполнения СМР изменяется приблизительно от 300 дней до 700 дней. При изменении  $X_2$  от +1 (7 дней в неделю) до -1 (3 дня в неделю) продолжительность выполнения СМР изменяется от 300 дней до 500 дней. При изменении  $X_3$  от +1 (коэффициент совмещенности работ равен 63%) до -1 (коэффициент совмещенности работ равен 0%) продолжительность выполнения СМР меняется от 200 до 1000 дней.

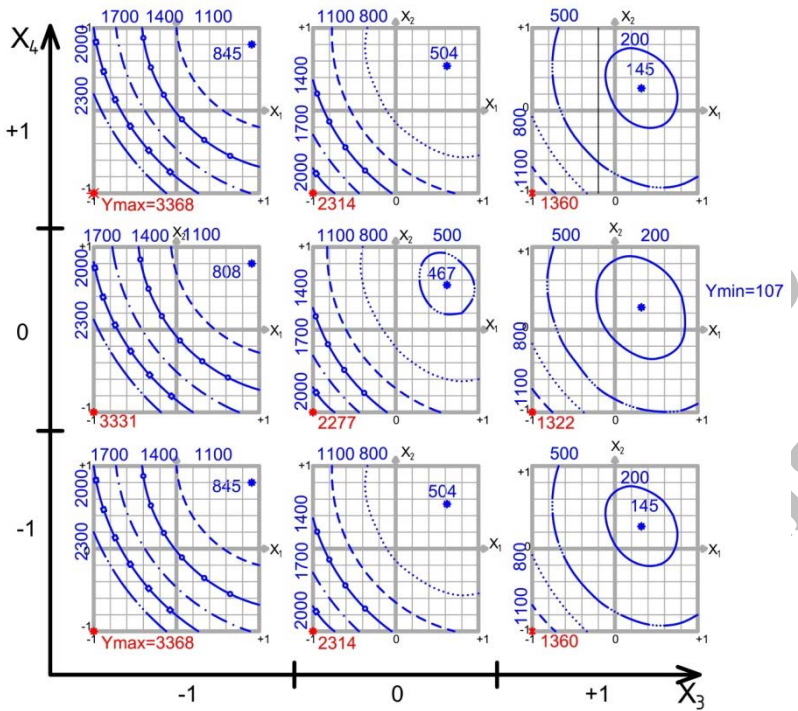
Для прогнозирования изменений исследуемых показателей при варьировании количества рабочих смен в сутки, рабочих дней в неделю, коэффициента совмещения работ и величины условно-постоянных расходов наиболее рационально пользоваться графическим изображением ([рис. 3.4](#)) в двухфакторном пространстве. Для этой цели были построены диаграммы типа «квадрат на квадрате». Значения показателей на таких диаграммах отображаются с помощью изолиний, т.е. линий, на которых находятся равные значения функции отклика.

В рамках диаграммы, изображенной на [рисунке 3.4](#), функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{\max} = 3368$  дней при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки),  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю),  $X_3 = -1$  (коэффициент совмещенности работ равен 0%)  $X_4 = +1$  (величина условно-постоянных расходов равна 700 тыс. руб./мес.);
- $Y_{\min} = 107$  дней при  $X_1 = +0,3$  (18 рабочих часов в сутки),  $X_2 = +0,25$  (6 рабочих дней в неделю),  $X_3 = +1$  (коэффициент совмещения работ равен 63%) и при значениях  $X_4 = 0$  (величины условно-постоянных расходов, равной 500 тыс. руб./мес.).

Продолжительность выполнения СМР при реконструкции Останкинской телебашни стремится к своему максимуму при приближении уровней варьирования факторов  $X_1$  и  $X_2$  к минимальным значениям (1 рабочая смена в сутки и 3 рабочих дня в неделю). При стремлении тех же факторов к максимальным значениям (3 рабочие смены в сутки и 7 рабочих дней в неделю) продолжительности выполнения СМР стремятся к минимуму, что объясняется значительной интенсификацией процесса реконструкции.

3.6 Закономерности изменения выбранных показателей при варьировании исследуемых факторов



Условные обозначения:

Изолинии продолжительности выполнения строительно-монтажных работ:



$X_1$  – Количество смен в сутки

$X_2$  – Количество рабочих дней в неделю

$X_3$  – Коэффициент совмещения работ, %

$X_4$  – Величина условно-постоянных расходов, тыс.руб/мес.

Рис. 3.4 Диаграмма изменения показателя «продолжительность выполнения СМР» типа «квадрат в квадрате» (дни)

Рассмотрим подробнее двухфакторные диаграммы зависимости исследуемого показателя от  $X_1$  и  $X_2$ , построенные при фиксации  $X_3$  и  $X_4$  (рис. 3.4).

При фиксации уровня  $X_3 = +1$  (коэффициент совмещения работ равен 63%) и  $X_4 = +1$  (величина условно-постоянных расходов равна 700 тыс. руб./мес.) (рис. 3.4) максимальная продолжительности выполнения СМР равна 1360 дней. Это значение соответствует показателям  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю). Минимальная продолжительность выполнения СМР при реконструкции сооружения достигает значения 145 дней при  $X_1 = 0,32$  и  $X_2 = 0,27$ .

При фиксации  $X_3 = 0$  (коэффициент совмещения работ равен 32%) и  $X_4 = +1$  (величина условно-постоянных расходов равна 700 тыс. руб./мес.) (рис. 3.4) максимальная продолжительность выполнения СМР при реконструкции равна 2314 дней. Это значение соответствует  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю). Минимальная продолжительность выполнения СМР достигает значения 504 дней при  $X_1 = 0,62$  и  $X_2 = 0,54$ .

При фиксации  $X_3 = 0$  (коэффициент совмещения работ = 32%) и  $X_4 = 0$  (величины условно-постоянных расходов = 500 тыс. руб.) (рис. 3.4) максимальная продолжительность выполнения СМР равна 2277 дней. Это значение соответствует  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю). Минимальная продолжительность выполнения СМР достигает значения 467 дней при  $X_1 = 0,62$  и  $X_2 = 0,54$ .

При фиксировании показателей  $X_3 = -1$  (коэффициент совмещенности работ равен 0%) и  $X_4 = 0$  (величина условно-постоянных расходов равна 500 тыс. руб./мес.) (рис. 3.4) максимальная продолжительность выполнения СМР равна 3331 дней. Это значение достигается при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю). Минимальная продолжительность выполнения СМР при реконструкции сооружения достигает значения 808 дней при  $X_1 = 0,91$  и  $X_2 = 0,8$ .

На рис. 3.5 – 3.6 детально показаны диаграммы  $Y_1 = f(x_i)$  (формула 3.4) в зонах, соответствующих экстремальным значениям показателей.

При фиксации факторов  $X_3 = +1$  (коэффициент совмещения работ равен 63%) и  $X_4 = 0$  (величина условно-постоянных расходов равна 500 тыс. руб./мес.) (рис. 3.5) максимальная продолжительность выполнения СМР при реконструкции равна 1322 дня. Это значение достигается при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю). Минимальная продол-

жительность выполнения СМР достигает значения 107 дней при  $X_1 = 0,32$  и  $X_2 = 0,27$ .

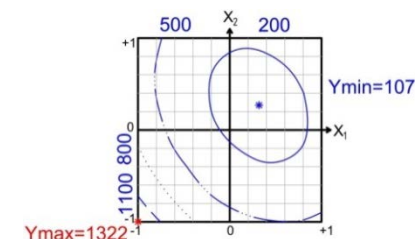


Рис. 3.5 Изолинии модели изменения продолжительности выполнения СМР по реконструкции при фиксации факторов  $X_3 = +1$ ,  $X_4 = 0$

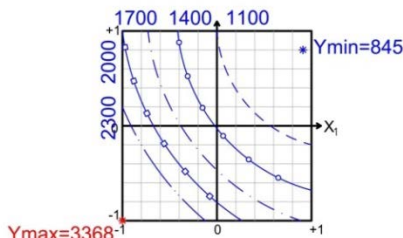


Рис.3.6 Изолинии модели изменения продолжительности выполнения СМР по реконструкции при фиксации факторов  $X_3 = -1$ ,  $X_4 = -1$

При фиксировании показателей  $X_3 = -1$  (коэффициент совмещения работ равен 0%) и  $X_4 = -1$  (величина условно-постоянных расходов равна 300 тыс. руб./мес.) (рис. 3.6) максимальная продолжительность выполнения СМР равна 3368 дней. Это значение достигается при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю). Минимальная продолжительность выполнения СМР при реконструкции сооружения достигает значения 845 дней при  $X_1 = 0,91$  и  $X_2 = 0,8$ .

#### *Интенсивность финансирования проекта реконструкции.*

Закономерность изменения среднемесячной интенсивности финансирования реконструкции Останкинской телебашни в зависимости от количества рабочих смен в сутки, рабочих дней в неделю, коэффициента совмещенности работ и величины условно-постоянных расходов можно описать при помощи следующей формулы (3.5):

#### Содержание



$$\begin{aligned}
 Y_2 = & 22539,41 + 5906,812X_1 - 4465,1 X_1^2 + 1423,84 X_1 X_2 + 2334,77 X_1 X_3 \\
 & + 73,43 X_1 X_4 \\
 & + 4584,98 X_2 - 4336,95 X_2^2 + 1859,23 X_2 X_3 - 73,43 X_2 X_4 \\
 & + 8106,2 X_3 + 4394,15 X_3^2 - 73,43 X_3 X_4 \\
 & + 67,43 X_4 - 232,85 X_4^2
 \end{aligned} \quad (3.5)$$

Данная аналитическая зависимость показывает, что максимальное влияние на исследуемый показатель интенсивности финансирования реконструкции оказывает фактор  $X_3$  – коэффициент совмещенности работ (коэффициент при  $X_3$  в [формуле 3.5](#) равен 8106,2). Фактор  $X_1$  (количество рабочих смен в сутки) также оказывает на показатель существенное влияние (коэффициент при  $X_1$  равен 5906,817). Фактор  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю) тоже оказывает существенное влияние (коэффициент при  $X_2$  равен 4584,978). Самое минимальное влияние из исследуемых факторов оказывает фактор  $X_4$  – величина условно-постоянных расходов. Положительный знак у коэффициентов при  $X_1, X_2, X_3, X_4$  означает, что влияние этих факторов на  $Y_2$  (среднемесячную интенсивность финансирования реконструкции) прямо пропорционально.

Следующим этапом анализа стало ранжирование факторов в подобластях максимума и минимума значений исследуемой функции.

Было выполнено сравнение однофакторных экспериментально-статистических моделей, построенных в двух граничных (экстремальных) вариантах. Верхние кривые, показанные на [рисунке 3.7](#), построены в плоскостях ( $Y_2, X_i$ ), проходящих через точку с максимальным значением функции  $Y_2$ . Все факторы, кроме рассматриваемого, были зафиксированы на уровнях, соответствующих максимальному значению исследуемого показателя. Кривые, расположенные на графике снизу, построены в тех же плоскостях, но через точку с минимальным значением функции  $Y_2$ . В данном случае все факторы, кроме рассматриваемого, были зафиксированы на уровнях, соответствующих минимальным значениям продолжительности строительства.

Для оценки влияния каждого из факторов построены диаграммы ранжирования в областях минимума и максимума функции (нижняя часть [рис. 3.7](#)).

Степень влияния факторов в зоне максимальных и минимальных значений показателя интенсивности финансирования проекта различна.

При максимальной среднемесячной интенсивности финансирования проекта степень влияния фактора  $X_3$  (коэффициент совмещения работ) максимальна и составляет 100%. Фактор  $X_1$  (количество рабочих смен в сутки) оказывает меньшее, но существенное влияние на интенсивность финансирования реконструкции – 77%, фактор  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю) оказывает влияние в 65%, а фактор  $X_4$  (величина условно-постоянных расходов) не оказывает никакого влияния на описываемый показатель.

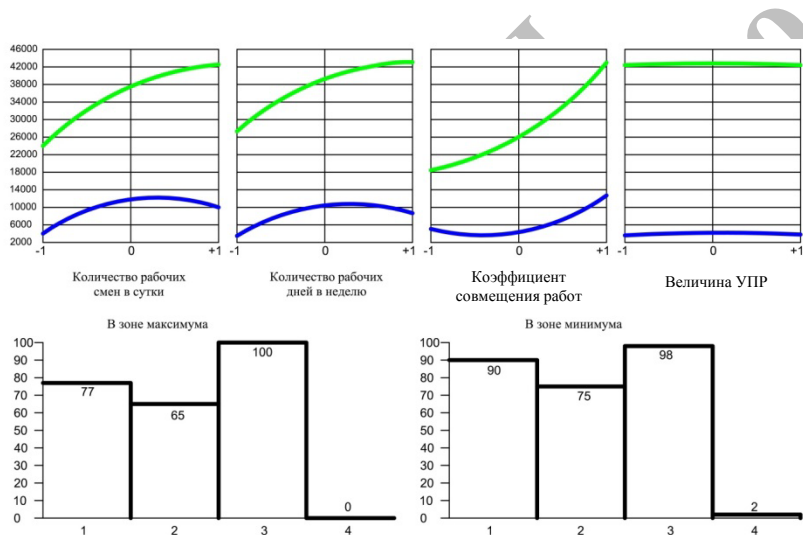


Рис. 3.7 Влияние организационно-технологических факторов на интенсивность финансирования проекта реконструкции

В зоне минимума фактор  $X_3$  (коэффициент совмещенности работ) оказывает максимальное влияние на рассматриваемый показатель – 100%, а  $X_4$  (величина условно-постоянных расходов) – минимальное (2%). Степень влияния фактора  $X_1$  (количество рабочих смен в сутки) – 90%, а фактора  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю) – 75%.

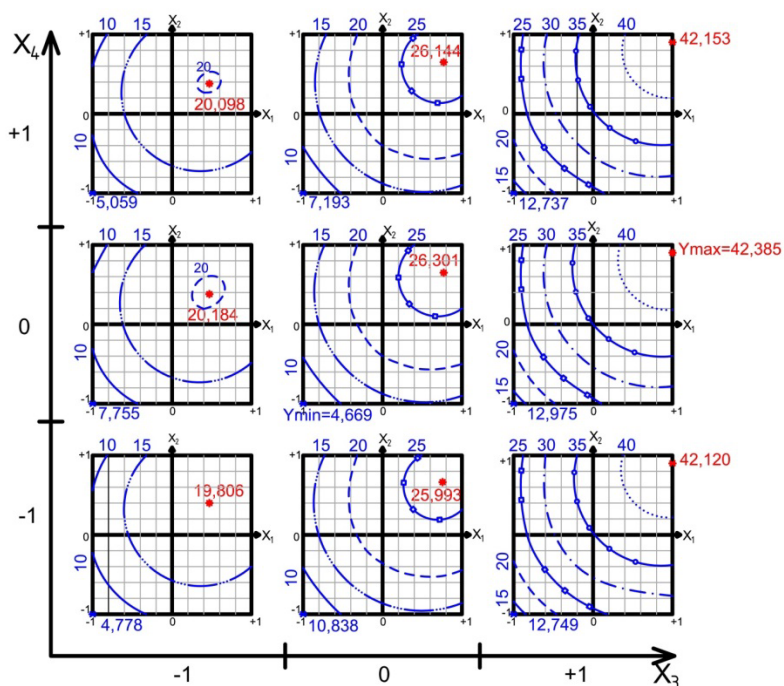
В зоне максимальных значений интенсивности финансирования проекта (верхние кривые графика) характер влияния всех факторов, кроме  $X_4$  (величина условно-постоянных расходов), явно выражен и имеет прямо пропорциональную зависимость. При изменении  $X_1$  от +1 (3 смены в сутки) до -1 (1 сме-

на в сутки) показатель изменяется от приблизительно 42400 до 24000 тыс. руб./мес.

Похожий характер на рассматриваемый показатель носит и влияние фактора  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю). Интенсивность финансирования проекта под влиянием данного фактора варьируется в пределах от 42400 до 28000 тыс. руб./мес. При изменении фактора  $X_3$  от +1 (коэффициент совмещения работ равен 63%) до -1 (коэффициент совмещения работ равен 0%) интенсивность финансирования проекта изменяется от 42400 дней до 18000 тыс. руб./мес. Влияние фактора  $X_4$  (величина условно-постоянных расходов) минимально и при изменении уровня варьирования от +1 (700 тыс. руб./мес.) до -1 (300 тыс. руб./мес.) показатель интенсивности финансирования проекта практически не отклоняется от максимума.

В зоне минимальных значений фактор  $X_4$  (величина условно-постоянных расходов) практически не оказывает влияния.  $X_1$  (количество рабочих смен в сутки),  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю) и  $X_3$  (коэффициент совмещения работ) так же, как и в зоне максимальных значений, но с меньшей степенью, оказывают прямо пропорциональное влияние на интенсивность финансирования проекта строительства. Так, при изменении  $X_1$  от +1 (3 смены в сутки) до -1 (1 смена в сутки) интенсивность изменяется от 10000 тыс. руб./мес. до 3500 тыс. руб./мес. При изменении  $X_2$  от +1 (7 дней в неделю) до -1 (3 дня в неделю) интенсивность финансирования проекта изменяется приблизительно от 8000 тыс. руб./мес. до 3500 тыс. руб./мес. При изменении  $X_3$  от +1 (коэффициент совмещенности работ равен 63%) до -1 (коэффициент совмещенности работ равен 0%) показатель меняется от 12000 до 5000 тыс. руб./мес.

Для прогнозирования изменений исследуемых показателей при варьировании количества рабочих смен в сутки, рабочих дней в неделю, коэффициента совмещения работ и величины условно-постоянных расходов были построены диаграммы типа «квадрат на квадрате» (рис. 3.8). Показатели на таких диаграммах изображаются с помощью изолиний, т.е. линий, на которых находятся равные значения рассматриваемого показателя.



Условные обозначения:

Изолинии интенсивности финансирования проекта реконструкции:

—————	10 млн. руб./мес	— · — · — · —	15 млн. руб./мес
- - - - -	20 млн. руб./мес	— ○ — ○ — ○ —	25 млн. руб./мес
- · - · - · -	30 млн. руб./мес	— ○ — ○ — ○ —	35 млн. руб./мес
· · · · ·	40 млн. руб./мес		

$X_1$  - Количество смен в сутки

$X_2$  - Количество рабочих дней в неделю

$X_3$  - Коэффициент совмещения работ, %

$X_4$  - Величина условно-постоянных расходов, тыс.руб./мес.

Рис. 3.8 Диаграмма изменения показателя «интенсивность финансирования» типа «квадрат в квадрате» (млн. руб./мес.)

В рамках данной диаграммы функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{max} = 42385$  тыс. руб./мес. при  $X_1 = +1$  (3 рабочих смены в сутки),  $X_2 = +1$  (7 рабочих дней в неделю)  $X_3 = +1$  (коэффициент совмещения работ

равен 63%) и при значениях  $X_4 = 0$  (величина условно-постоянных расходов равна 500 тыс. руб./мес.);

- $Y_{\min} = 4669$  тыс. руб./мес. при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки),  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю),  $X_3 = 0$  (коэффициент совмещения работ),  $X_4 = 0$  (величина условно-постоянных расходов равна 500 тыс. руб./мес.).

Рассмотрим подробнее двухфакторные диаграммы зависимости исследуемого показателя от  $X_1$  и  $X_2$ , построенные при фиксации  $X_3$  и  $X_4$  ([рис. 3.8](#)).

При фиксированном уровне  $X_3 = +1$  (коэффициент совмещенности работ равен 63%) и  $X_4 = -1$  (величина условно-постоянных расходов равна 300 тыс. руб./мес.) ([рис. 3.8](#)) максимальная интенсивность финансирования проект реконструкции равна 42,120 млн. руб./мес. Это значение достигается при  $X_1 = +1$  (3 рабочих смены в сутки) и  $X_2 = +0,91$  (7 рабочих дней в неделю). Минимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции сооружения достигает значения 12,749 млн. руб./мес. при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю).

При фиксации  $X_3 = 0$  (коэффициент совмещения работ равен 32%) и  $X_4 = +1$  (величина условно-постоянных расходов равна 700 тыс. руб./мес.) ([рис. 3.8](#)) максимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции равна 26,144 тыс. руб./мес. Это значение соответствует  $X_1 = 0,77$  (22 рабочих часа в сутки) и  $X_2 = 0,65$  (6 рабочих дней в неделю). Минимальная интенсивность финансирования реконструкции сооружения достигает значения 7,193 млн. руб./мес. при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю).

При фиксированном уровне  $X_3 = 0$  (коэффициент совмещения работ равен 32%) и  $X_4 = -1$  (величина условно-постоянных расходов равна 300 тыс. руб./мес.) ([рис. 3.8](#)) максимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции равна 25,993 млн. руб./мес. Это значение соответствует уровню  $X_1 = 0,76$  (22 рабочих часа в сутки) и  $X_2 = 0,66$  (6 рабочих дней в неделю). Минимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции достигает значения 10,838 млн. руб./мес. при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю).

При фиксированном уровне показателей  $X_3 = -1$  (коэффициент совмещения работ равен 0%) и  $X_4 = +1$  (величина условно-постоянных расходов

равна 700 тыс. руб./мес.) (рис. 3.8) максимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции равна 20,098 млн. руб./мес. Это значение достигается при  $X_1 = 0,47$  и  $X_2 = 0,38$ . Минимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции сооружения достигает значения 5,059 млн. руб./мес. при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю).

При фиксировании показателей  $X_3 = -1$  (коэффициент совмещения работ равен 0%) и  $X_4 = 0$  (величина условно-постоянных расходов равна 500 тыс. руб./мес.) (рис. 3.8) максимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции равна 20,184 млн. руб./мес. Это значение достигается при  $X_1 = 0,46$  и  $X_2 = 0,39$ . Минимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции достигает значения 7,755 млн. руб./мес. при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю).

На рис. 3.9 – 3.10 подробнее показаны диаграммы  $Y_2 = f(x_i)$  в зонах экстремальных значений показателя.

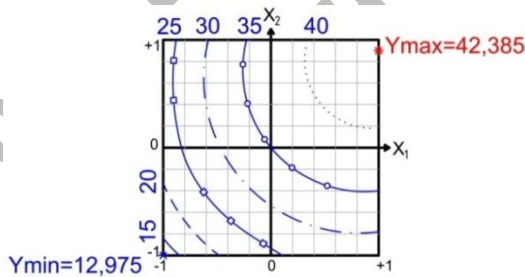


Рис. 3.9 Изолинии модели изменения интенсивности финансирования проекта реконструкции при фиксации факторов  $X_3 = +1$ ,  $X_4 = 0$

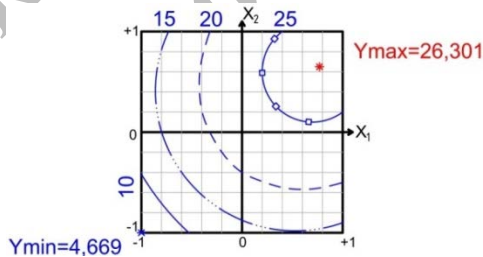


Рис. 3.10 Изолинии модели изменения интенсивность финансирования проекта реконструкции при фиксации факторов  $X_3 = 0$ ,  $X_4 = 0$

При фиксации факторов  $X_3 = +1$  (коэффициент совмещения работ равен 63%) и  $X_4 = 0$  (величина условно-постоянных расходов равна 500 тыс. руб./мес.) (рис. 3.9) максимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции равна 42,385 млн. руб./мес. Это значение достигается при величине  $X_1 = +1$  (3 рабочих смены в сутки) и  $X_2 = 0,91$  (7 рабочих дней в неделю). Минимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции сооружения достигает значения 12,975 млн. руб./мес. при величине  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю).

При фиксации уровней  $X_3 = 0$  (коэффициент совмещения работ равен 32%) и  $X_4 = 0$  (величина условно-постоянных расходов равна 500 тыс. руб./мес.) (рис. 3.10) максимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции равна 26,301 тыс. руб./мес. Это значение соответствует  $X_1 = -0,77$  (22 рабочих часа в сутки) и  $X_2 = 0,65$  (6 рабочих дней в неделю). Минимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции сооружения достигает значения 4,669 млн. руб./мес. при значениях факторов  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю).

#### *Стоимость производства строительно-монтажных работ.*

В результате выполнения численного эксперимента по 4-факторному 25-точечному плану определены численные значения стоимости производства строительно-монтажных работ по реконструкции Останкинской телебашни для каждого сочетания факторов (строки 1-25 плана эксперимента). Они представлены в [таблице 3.2](#).

Закономерность изменения стоимости производства СМР по реконструкции Останкинской телебашни в зависимости от количества рабочих смен в сутки, рабочих дней в неделю, коэффициента совмещенности работ и величины условно-постоянных расходов адекватно описывается зависимостью, приведенной ниже:

$$\begin{aligned}
 Y_3 = & 543451,34 - 9628,71X_1 + 1328,02 X_1^2 + 395,83 X_1 X_2 \\
 & + 2008,34 X_1 X_3 - 1391,67X_1 X_4 \\
 & - 4375,93 X_2 + 186,32 X_2^2 \\
 & + 4887,5 X_2 X_3 - 4366,67 X_2 X_4 \\
 & - 8175,01 X_3 - 3321,98 X_3^2 - 6015,01 X_3 X_4 \\
 & + 5442,22 X_4 + 11469,67 X_4^2
 \end{aligned} \quad (3.6)$$

Полученная аналитическая зависимость показывает, что максимальное влияние на исследуемый показатель продолжительности строительства жилого здания оказывает фактор  $X_1$  – количество рабочих смен в сутки (коэффициент при  $X_1$  равен -9628,706), а минимальное влияние из исследуемых факторов оказывает фактор  $X_2$  – количество рабочих дней в неделю. Фактор  $X_3$  (коэффициент совмещения работ) и  $X_4$  (величина условно-постоянных расходов) также оказывают существенное влияние на исследуемый показатель. Отрицательные знаки у коэффициентов при  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  означают, что изменение этих факторов оказывает обратно пропорциональное влияние на изменение  $Y_3$  (стоимость производства СМР).

Верхние кривые на [рис. 3.11](#), построены в плоскостях ( $Y_3, X_1$ ), проходящих через точку с максимальным значением функции  $Y_3$ . Для этого все факторы, кроме рассматриваемого, фиксировались на уровнях, соответствующих максимальным значениям исследуемого показателя. Нижние кривые, изображенные на [рис. 3.11](#), построены в тех же плоскостях, но через точку с минимальным значением функции  $Y_3$ . В данном случае все факторы, кроме рассматриваемого, были зафиксированы на уровнях, соответствующих минимальному значению показателя.

В зоне экстремумов (минимальных и максимальных значений) стоимости производства СМР степень влияния факторов неоднозначна.

При минимальной стоимости производства СМР степень влияния фактора  $X_3$  (коэффициент совмещения работ) максимальна и составляет 100%, фактор  $X_4$  (величина условно-постоянных расходов) оказывает немного меньшее влияние на описываемый показатель – 82%. Факторы  $X_1$  (количество рабочих смен в сутки) и фактор  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю) оказывают меньшее влияние на стоимость производства СМР – 62% и 66% соответственно.

В зоне максимума фактор  $X_3$  (коэффициент совмещения работ) оказывает максимальное влияние на рассматриваемый показатель – 100%, а  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю) – минимальное (12%). Степень влияния фактора  $X_1$  (количество рабочих смен в сутки) – 75%, а фактора  $X_4$  (величины условно-постоянных расходов) – 66%.



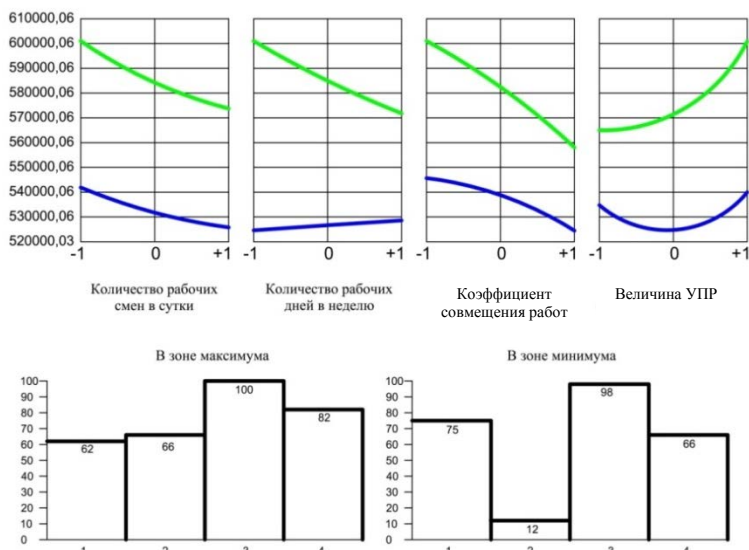


Рис. 3.11 Влияние организационно-технологических факторов на стоимость производства СМР

В зоне максимальных значений стоимости производства СМР характер влияния факторов  $X_1$  (количество рабочих смен в сутки),  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю),  $X_3$  (коэффициент совмещения работ) выражен достаточно сильно и имеет обратно пропорциональную зависимость. При изменении  $X_1$  от +1 (3 смены в сутки) до -1 (1 смена в сутки) общая стоимость производства СМР изменяется от 575 млн. руб. до 600 млн. руб. Примерно такое же влияние на общую сумму стоимости производства СМР оказывает фактор  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю). При изменении  $X_2$  от +1 (7 дней в неделю) до -1 (3 дня в неделю) общая стоимость СМР варьируется в пределах от 572,5 до 600 млн. руб. Влияние фактора  $X_3$  (коэффициент совмещения работ) на стоимость производства СМР также носит характер обратно пропорциональной зависимости, но имеет другие численные значения. Так, например, при изменении  $X_3$  от +1 (коэффициент совмещения работ равен 63%) до -1 (коэффициент совмещения работ равен 0%) стоимость СМР изменяется от 557,5 млн. руб. до 600 млн. руб. Влияние фактора  $X_4$  (величина условно-постоянных расходов) имеет прямо пропорциональный характер и при изменении уровня варьирования от

+1 (700 тыс. руб./мес.) до -1 (300 тыс. руб./мес.) показатель стоимости производства СМР изменяется от 600 млн. руб. до 565 млн. руб.

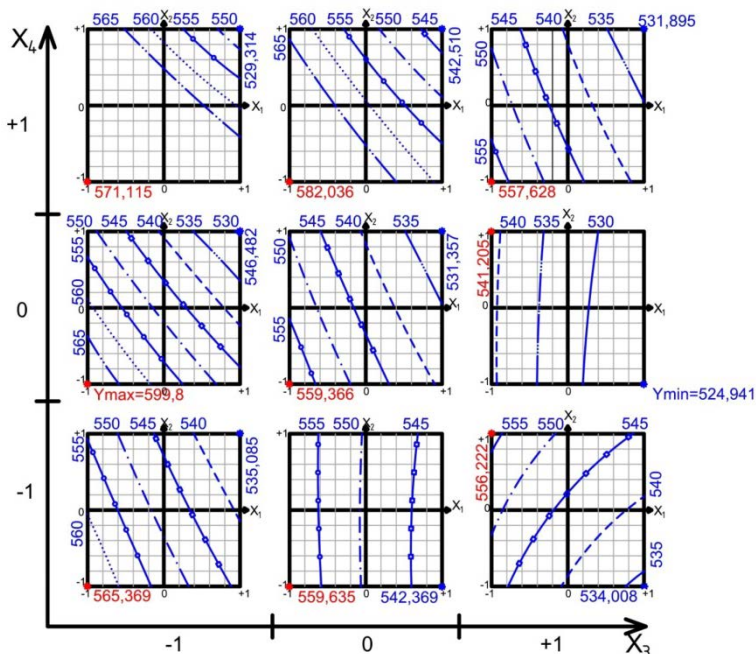
В зоне минимальных значений фактор  $X_1$  (количество рабочих смен в сутки) оказывает следующее влияние на исследуемый показатель, при изменении от +1 (3 смены в сутки) до -1 (1 смена в сутки) стоимость производства СМР изменяется от 525 млн. руб. до 542 млн. руб. При изменении от  $X_2$  (количество рабочих дней в неделю) от +1 (7 дней в неделю) до -1 (3 дня в неделю) стоимость производства СМР изменяется несущественно: от 527,5 млн. руб. до 525 млн. руб. Фактор  $X_3$  (коэффициент совмещения работ) оказывает максимальное влияние на исследуемый показатель, при изменении  $X_3$  от +1 (коэффициент совмещения работ равен 63%) до -1 (коэффициент совмещения работ равен 0%) стоимость производства СМР возрастает от 525 млн. руб. до 546 млн. руб. Фактор  $X_4$  (величина условно-постоянных расходов) влияет следующим образом: при изменении  $X_4$  от +1 (700 тыс. руб./мес.) до -1 (300 тыс. руб./мес.) показатель изменяется от 540 млн. руб. до 535 млн. руб.

Для прогнозирования изменений исследуемых показателей при варьировании количества рабочих смен в сутки, рабочих дней в неделю, коэффициента совмещения работ и величины условно-постоянных расходов были построены диаграммы типа «квадрат на квадрате» ([рис. 3.12](#)). Они изображаются с помощью изолиний, т.е. линий, на которых находятся равные значения функции отклика.

В рамках данной диаграммы функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{\max} = 599,8$  млн. руб. при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки),  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю)  $X_3 = -1$  (коэффициент совмещения работ равен 32%) и при значениях  $X_4 = 0$  (величина условно-постоянных расходов равна 500 тыс. руб./мес.);
- $Y_{\min} = 524,94$  млн. руб. при  $X_1 = +1$  (3 рабочих смены в сутки),  $X_2 = +1$  (7 рабочих дней в неделю)  $X_3 = +1$  (коэффициент совмещения работ равен 63%) и при значениях  $X_4 = 0$  (величина условно-постоянных расходов равна 500 тыс. руб./мес.).

3. ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННЫХ РЕШЕНИЙ РЕКОНСТРУКЦИИ  
ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ



Условные обозначения:

Изолинии общей стоимости общестроительных работ:

—————	530 млн. руб.	— · — · — · —	535 млн. руб.
- - - - -	540 млн. руб.	— ○ — ○ —	545 млн. руб.
- · - · -	550 млн. руб.	— ○ — ○ —	555 млн. руб.
·····	560 млн. руб.	— · — · — · —	565 млн. руб.

$X_1$  - Количество смен в сутки

$X_2$  - Количество рабочих дней в неделю

$X_3$  - Коэффициент совмещения работ, %

$X_4$  - Величина условно-постоянных расходов, тыс.руб/мес.

Рис. 3.12 Диаграмма изменения показателя «стоимость производства СМР» типа «квадрат на квадрате» (млн. руб.)

При фиксации уровня  $X_3 = +1$  (коэффициент совмещения работ равен 63%) и  $X_4 = +1$  (величина условно-постоянных расходов равна 700 тыс. руб./мес.) (рис. 3.12) минимальная стоимость производства СМР равняется 531,895 млн. руб. Это значение соответствует показателям  $X_1 = +1$  (3 рабочих

смены в сутки) и  $X_2 = +1$  (7 рабочих дней в неделю). Максимальная стоимость производства СМР при реконструкции сооружения достигает значения 557,628 млн. руб. при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю).

При фиксированном уровне  $X_3 = +1$  (коэффициент совмещения работ равен 63%) и  $X_4 = -1$  (величина условно-постоянных расходов равна 300 тыс. руб./мес.) (рис. 3.12) максимальное значение стоимости производства СМР при реконструкции равно 556,222 млн. руб. Это значение достигается при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = +1$  (7 рабочих дней в неделю). Минимальная стоимость производства СМР при реконструкции сооружения достигает значения 534,008 млн. руб. при  $X_1 = +1$  (3 рабочих смены в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю).

При фиксации  $X_3 = 0$  (коэффициент совмещения работ равен 32%) и  $X_4 = 0$  (величина условно-постоянных расходов равна 500 тыс. руб./мес.) (рис. 3.12) максимальная стоимость производства СМР при реконструкции равна 559,366 млн. руб.

Это значение соответствует  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю). Минимальная стоимость производства СМР при реконструкции сооружения достигает значения 531,357 млн. руб. при значениях факторов при  $X_1 = +1$  (3 рабочих смены в сутки) и  $X_2 = +1$  (7 рабочих дней в неделю).

При фиксированном уровне показателей  $X_3 = -1$  (коэффициент совмещения работ равен 0%) и  $X_4 = +1$  (величина условно-постоянных расходов равна 700 тыс. руб./мес.) (рис. 3.12) максимальная стоимость производства СМР при реконструкции равна 571,115 млн. руб. Это значение достигается при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю). Минимальная стоимость производства СМР при реконструкции сооружения достигает значения 529,314 млн. руб. при  $X_1 = +1$  (3 рабочих смены в сутки) и  $X_2 = +1$  (7 рабочих дней в неделю).

При фиксировании показателей  $X_3 = -1$  (коэффициент совмещения работ равен 0%) и  $X_4 = -1$  (величина условно-постоянных расходов равна 300 тыс. руб./мес.) (рис. 3.12) максимальная стоимость производства СМР при реконструкции равна 565,369 млн. руб. Это значение достигается при  $X_1 = -1$  (1

рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю). Минимальная стоимость производства СМР при реконструкции сооружения достигает значения 535,085 млн. руб. при  $X_1 = +1$  (3 рабочих смены в сутки) и  $X_2 = +1$  (7 рабочих дней в неделю).

На [рис. 3.13](#) – [3.14](#) подробнее показаны диаграммы  $Y_3 = f(x_i)$  в зонах экстремальных значений показателя.

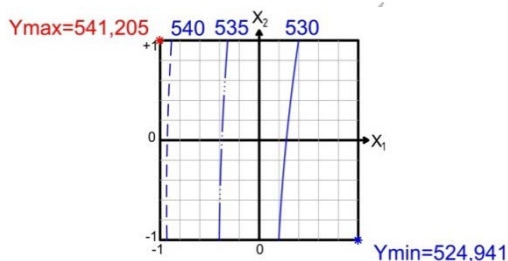


Рис. 3.13 Изолинии модели изменения стоимости производства СМР при фиксации факторов  $X_3 = +1$ ,  $X_4 = 0$

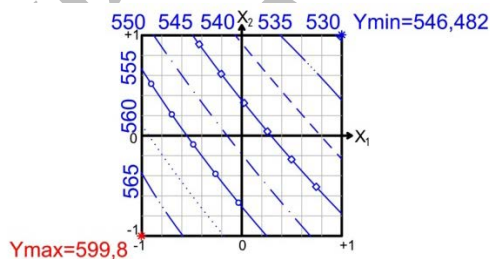


Рис. 3.14 Изолинии модели изменения стоимости производства СМР при фиксации факторов  $X_3 = -1$ ,  $X_4 = 0$

При фиксации факторов  $X_3 = +1$  (коэффициент совмещения работ равен 63%) и  $X_4 = 0$  (величина условно-постоянных расходов равна 500 тыс. руб./мес.) ([рисунок 3.13](#)) минимальная стоимость производства СМР при реконструкции равна 524,94 млн. руб. Это значение достигается при  $X_1 = +1$  (3 рабочих смены в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю). Максимальная стоимость реконструкции сооружения достигает значения 541,205 млн. руб. при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = +1$  (7 рабочих дней в неделю).

При фиксировании показателей  $X_3 = -1$  (коэффициент совмещенности работ равен 0%) и  $X_4 = 0$  (величина условно-постоянных расходов равна 500 тыс. руб./мес.) ([рисунок 3.14](#)) максимальная стоимость производства СМР при реконструкции равна 599,800 млн. руб. Это значение достигается при  $X_1 = -1$  (1 рабочая смена в сутки) и  $X_2 = -1$  (3 рабочих дня в неделю). Минимальная стоимость производства СМР при реконструкции сооружения достигает значения 546,482 млн. руб. при  $X_1 = +1$  (3 рабочих смены в сутки) и  $X_2 = +1$  (7 рабочих дней в неделю).

### 3.7 Выбор оптимальных решений реконструкции в условиях заданных ограничений

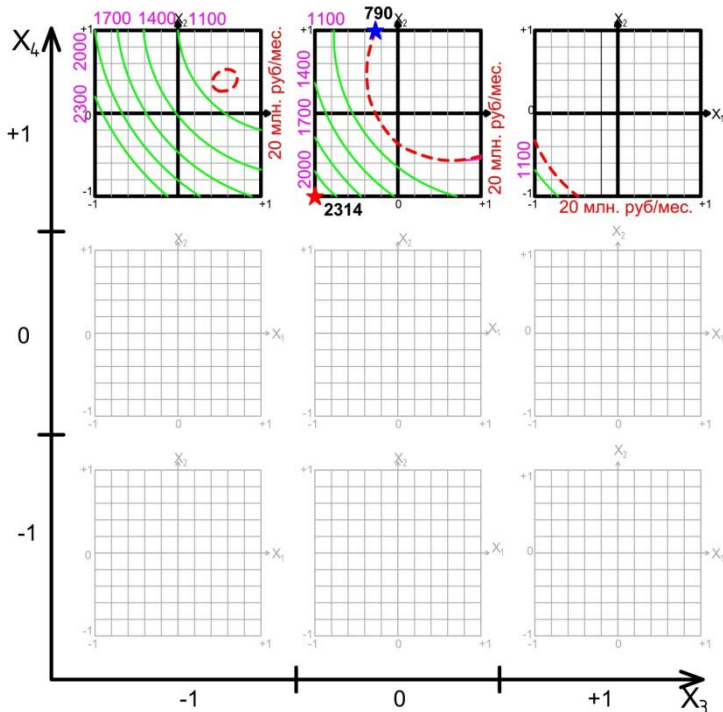
Для использования результатов исследований при реконструкции Останкинской телебашни был разработан алгоритм определения эффективного организационного решения реконструкции сооружений.

*Представим ситуацию, когда продолжительность выполнения строительно-монтажных работ растет, при этом интенсивность финансирования проекта реконструкции ограничена условной величиной в 20 млн. руб. и уровень условно-постоянных расходов максимален (700 тыс. руб./мес.) вследствие того, что работы выполняются силами одной организации.*

Практическим смыслом ограничений по заданным показателям и факторам является поиск компромиссного решения при определении оптимальной продолжительности производства работ. Благодаря графикам на [рис. 3.15](#) можно с определенной погрешностью определить характер изменения продолжительности выполнения строительно-монтажных работ, максимальное и минимальное значения рассматриваемого показателя.

Проанализировав [рис. 3.15](#), можно сказать, что минимальная продолжительность выполнения СМР, равная 790 дней, может быть достигнута при следующих значениях факторов:

- количество рабочих смен в сутки  $X_1 = -0,25$  (12 часов в сутки);
- количество рабочих дней в неделю  $X_2 = +1$  (7 дней в неделю);
- коэффициент совмещения работ  $X_3 = 0$  (32%);
- величина условно-постоянных расходов  $X_4 = +1$  (700 тыс. руб./мес.)



Условные обозначения:

--- 20 млн. руб./мес. - ограничение по интенсивности финансирования проекта реконструкции  
 --- 1100 - изолинии продолжительности выполнения строительно-монтажных работ (измеритель - дни)

$X_1$  - Количество смен в сутки

$X_2$  - Количество рабочих дней в неделю

$X_3$  - Коэффициент совмещения работ, %

$X_4$  - Величина условно-постоянных расходов, тыс.руб./мес.

Рис. 3.15 Диаграмма изменения продолжительности выполнения СМР при реконструкции при заданных ограничениях ( $X_3 = 20$  млн. руб./мес.,  $X_4 = 700$  тыс. руб./мес.)

А максимальное значение, равное 2314 дней, достигается при:

- количестве рабочих смен в сутки  $X_1 = -1$  (1 смена в сутки);
- количестве рабочих дней в неделю  $X_2 = -1$  (3 дня в неделю);
- коэффициенте совмещения работ  $X_3 = 0$  (32%);
- величине условно-постоянных расходов  $X_4 = +1$  (700 тыс. руб./мес.)



Введение ограничений приводит к тому, что минимальная продолжительность выполнения СМР увеличивается на 38,6% от заданного в ПОС на уровне 570 дней. В тоже время максимальное значение исследуемого показателя уменьшилось на 45,5% от полученного в результате моделирования.

При неизменных уровнях факторов  $X_3$  и  $X_4$  варьирование экстремальных значений происходит лишь за счет увеличения использования календарного времени, т.е. для достижения необходимого значения продолжительности выполнения СМР при реконструкции необходимо изменять значения факторов  $X_1$  и  $X_2$  (увеличивать их значение для достижения минимальных сроков и наоборот, уменьшать, для увеличения срока выполнения работ).

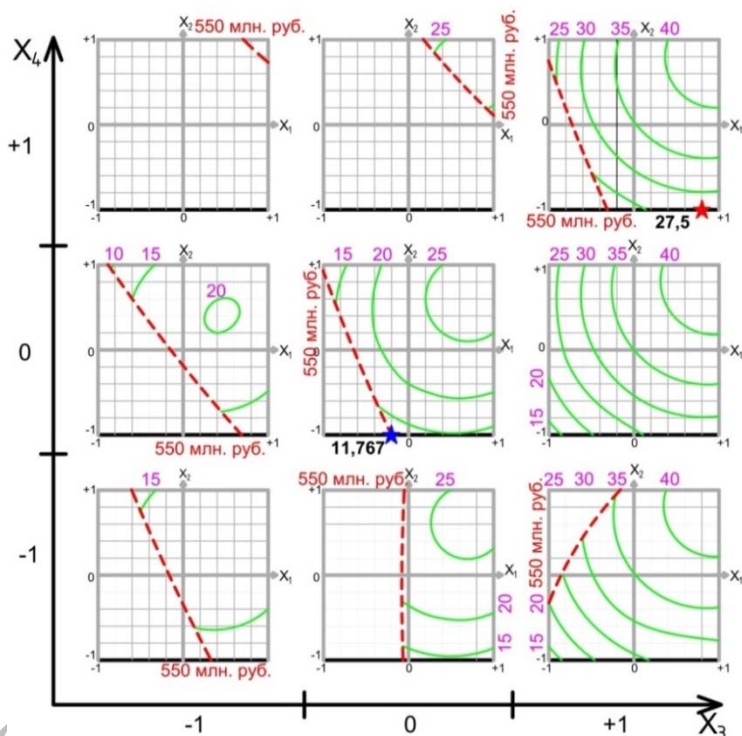
Наиболее рациональным решением будет максимально приблизить значение исследуемого показателя к его минимальному значению, заданному в ПОС (570 дней). В данном случае минимальное значение в 790 дней достигается при  $X_1 = -0,25$  (12 часов в сутки),  $X_2 = +1$  (7 дней в неделю),  $X_3 = 0$  (32%),  $X_4 = +1$  (700 тыс. руб./мес.).

Выбор ограничений данного типа обоснован тем, что подобная ситуация может возникнуть в случае проведения работ во время кризиса, когда нет возможности сохранять значение интенсивности финансирования проекта реконструкции на первоначально запланированном уровне, и для предотвращения увеличения общей стоимости производства СМР необходимо увеличивать продолжительность выполнения реконструкционных работ.

*Рассмотрим вариант реконструкции объекта, при котором необходимо проанализировать изменение интенсивности финансирования проекта реконструкции при условии, что стоимость выполнения СМР не должна превышать 550 млн. руб., а из-за особенностей функционирования телебашины нет возможности вести работы чаще, чем 3 дня в неделю.*

Задачей, определяемой при заданных значениях факторов и показателей, является поиск компромиссного решения при выборе оптимального значения интенсивности финансирования проекта реконструкции. Изучив [рис. 3.16](#), можно с заданной погрешностью определить характер изменения исследуемого показателя, найти его максимальное и минимальное значения.





Условные обозначения:

--- 550 млн. руб. - ограничение по общей стоимости общестроительных работ

— 15 - изолинии интенсивности финансирования проекта реконструкции (измеритель - млн. руб./мес)

$X_1$  -Количество смен в сутки

$X_2$  -Количество рабочих дней в неделю

$X_3$  - Коэффициент совмещения работ, %

$X_4$  - Величина условно-постоянных расходов, тыс.руб/мес.

Рис. 3.16 Диаграмма изменения интенсивности финансирования при заданных ограничениях ( $X_2 = 550$  млн.руб.,  $X_2 = 3$  дня)

В результате анализа [рис. 3.16](#) видно, что минимальная интенсивность финансирования проекта реконструкции, равная 11767 тыс. руб./мес., может быть достигнута при следующих значениях факторов:

- количество рабочих смен в сутки  $X_1 = -0,2$  (15 часов в сутки);
- количество рабочих дней в неделю  $X_2 = -1$  (3 дня в неделю);
- коэффициент совмещения работ  $X_3 = 0$  (32%);

- величина условно-постоянных расходов  $X_4 = 0$  (500 тыс. руб./мес.)

Максимальное значение в 27500 тыс. руб./мес. достигается при:

- количестве рабочих смен в сутки  $X_1 = +0,8$  (22 часа в сутки);
- количестве рабочих дней в неделю  $X_2 = -1$  (3 дня в неделю);
- коэффициенте совмещения работ  $X_3 = +1$  (63%);
- величине условно-постоянных расходов  $X_4 = +1$  (700 тыс. руб./мес.)

В результате введения ограничений произошло увеличение минимальной интенсивности финансирования проекта реконструкции Останкинской телебашни в 1,5 раза, а максимальное значение показателя уменьшилось на 54% по сравнению с экстремальными значениями, полученными по результатам моделирования.

Рассматриваемый показатель является сильно коррелирующим с показателями продолжительности и стоимости выполнения строительно-монтажных работ. В связи с этим на экстремальные значения влияют изменения всех первоначально заданных факторов. В результате анализа графиков можно сделать вывод, что наиболее выгодным, по всем показателям, является проведение работ с использованием коэффициента совмещения работ в 32%, поэтому для уменьшения значения исследуемого показателя необходимо стремиться именно к значению  $X_3 = 0$  (32%). При значении  $X_3 = +1$  (63%) значение интенсивности финансирования стремится к максимуму.

Рациональным решением будет привести значение показателя интенсивности финансирования проекта к минимуму, при этом значение показателя стоимости производства СМР должно находиться в пределах области допустимых значений. Значение интенсивности финансирования в 11767 тыс. руб./мес. возможно достигнуть при значениях факторов  $X_1 = -0,2$  (15 часов в сутки),  $X_2 = -1$  (3 дня в неделю),  $X_3 = 0$  (32%),  $X_4 = 0$  (500 тыс. руб./мес.).

*Предположим, что процесс реконструкции объекта, при котором необходимо проанализировать изменение стоимости производства СМР, ограничен следующими факторами: продолжительность выполнения СМР не должна превышать срока, указанного в ПОС (570 дней), величина условно-постоянных расходов максимальна и равна 700 тыс. руб./мес.*

Практическим смыслом ограничения по заданным показателям и факторам является нахождение компромиссного решения при определении опти-

мального организационного режима производства работ в условиях заданных ограничений.

Рассмотрев [рис. 3.17](#), можно с определенной погрешностью определить характер изменения исследуемого параметра, определить его максимальное и минимальное значения. В результате анализа [рис. 3.17](#) видно, что минимальная стоимость производства СМР, равная 532 млн. руб., может быть достигнута при следующих значениях факторов:

- количество рабочих смен в сутки  $X_1 = +1$  (3 смены в сутки);
- количество рабочих дней в неделю  $X_2 = +1$  (7 дней в неделю);
- коэффициент совмещения работ  $X_3 = +1$  (63%);
- величина условно-постоянных расходов  $X_4 = +1$  (700 тыс. руб./мес.)

Максимальное значение в 552 млн. руб. достигается при:

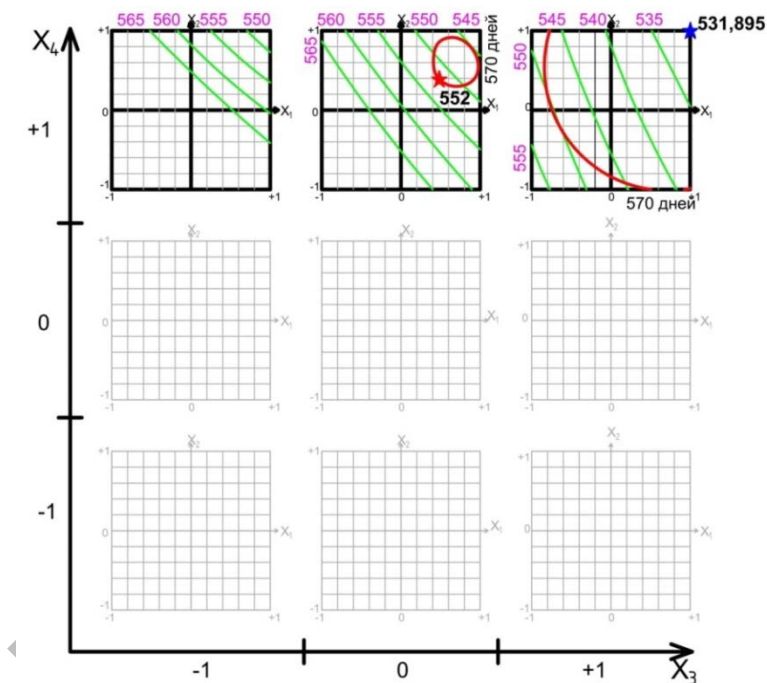
- количестве рабочих смен в сутки  $X_1 = 0,5$  (20 часа в сутки);
- количестве рабочих дней в неделю  $X_2 = +0,39$  (6 дней в неделю);
- коэффициенте совмещения работ  $X_3 = 0$  (32%);
- величине условно-постоянных расходов  $X_4 = +1$  (700 тыс. руб./мес.)

Вследствие введения ограничений произошло увеличение минимальной интенсивности финансирования проекта реконструкции на 1,3%, а максимальное значение показателя уменьшилось на 4,3% по сравнению с экстремальными значениями, полученными по результатам моделирования.

Значение исследуемого показателя в большинстве своем зависит от варьирования значений показателя продолжительности выполнения СМР, так как зона, удовлетворяющая заданным ограничениям, является относительно малой. Из [рис. 3.17](#) видно, что для минимизации стоимости производства СМР необходимо увеличивать значения факторов  $X_1$ ,  $X_2$ ,  $X_3$  и наоборот, для увеличения значения показателя  $Y_2$  необходимо уменьшать значение факторов  $X_1$ ,  $X_2$  и  $X_3$ .

*В ходе реконструкции объекта могут возникнуть организационные сложности, связанные с особенностями работы телебашины, которые потребуют минимизации временных факторов (например, проводить реконструкционные работы 3 дня в неделю в 2 смены). Эти ограничения могут привести к увеличению продолжительности выполнения СМР. Однако при этом суще-*

ствует ограничение по продолжительности выполнения СМР при реконструкции, указанное в ПОС в размере 570 дней.



Условные обозначения:

- - - 570 дней - ограничение по продолжительности выполнения строительно-монтажных работ
- 555 - изолинии общей стоимости общестроительных работ (измеритель - млн.руб)

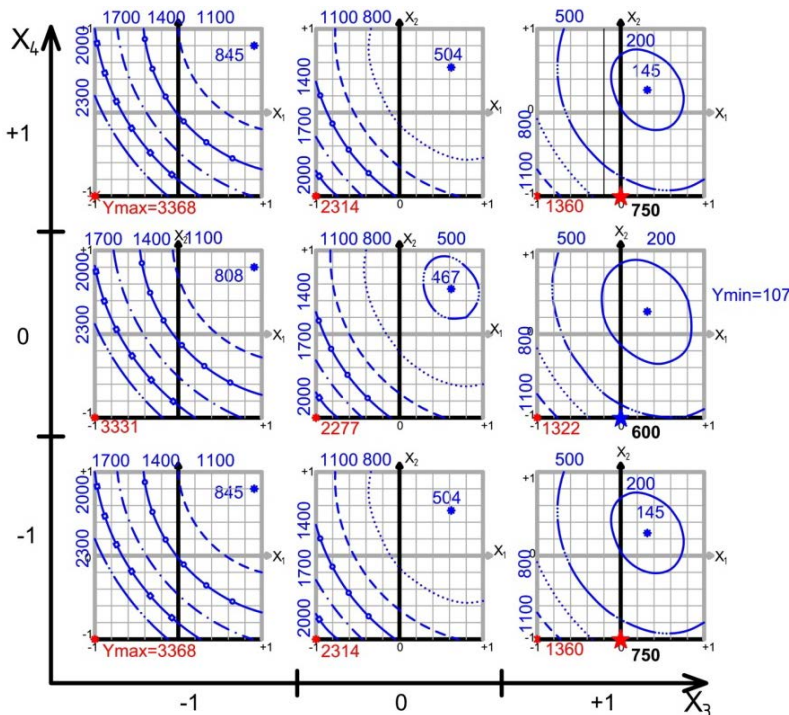
- $X_1$  -Количество смен в сутки
- $X_2$  -Количество рабочих дней в неделю
- $X_3$  - Коэффициент совмещения работ, %
- $X_4$  - Величина условно-постоянных расходов, тыс.руб/мес.

Рис. 3.17 Совмещенная диаграмма изменения стоимости выполнения СМР при заданных ограничениях ( $V_1 = 570$  дней,  $X_4 = 700$  тыс. руб./мес.)

Практический смысл ограничения по заданным показателям и факторам – это нахождение компромиссного решения при определении оптимального организационного режима производства работ при минимальных временных затратах. Рассмотрев [рис. 3.18](#) можно с определенной погрешностью опреде-

лить, возможно ли при заданных ограничениях факторов достичь требуемой продолжительности выполнения СМР.

В результате анализа [рис. 3.18](#) видно, что минимальная величина продолжительности выполнения СМР при реконструкции, равная 600 дней, может быть достигнута при следующих значениях факторов:



Условные обозначения:

— 500 - изолинии продолжительности строительно-монтажных работ (измеритель - дни)

$X_1$  - Количество смен в сутки

$X_2$  - Количество рабочих дней в неделю

$X_3$  - Коэффициент совмещения работ, %

$X_4$  - Величина условно-постоянных расходов, тыс.руб./мес.

Рис. 3.18 Диаграмма изменения продолжительности выполнения СМР при заданных ограничениях ( $X_1 = 2$  смены,  $X_2 = 3$  дня)

- количество рабочих смен в сутки  $X_1 = 0$  (2 смены в сутки);
- количество рабочих дней в неделю  $X_2 = -1$  (3 дня в неделю);
- коэффициент совмещения работ  $X_3 = +1$  (63%);
- величина условно-постоянных расходов  $X_4 = 0$  (500 тыс. руб./мес.)

Максимальное значение в 750 дней достигается при:

- количестве рабочих смен в сутки  $X_1 = 0$  (2 смены в сутки);
- количестве рабочих дней в неделю  $X_2 = -1$  (3 дня в неделю);
- коэффициенте совмещения работ  $X_3 = +1$  (63%);
- величине условно-постоянных расходов  $X_4 = -1$  (300 тыс. руб./мес.).

По результатам анализа графиков можно сказать, что при проведении реконструкционных работ при заданных ограничениях факторов  $X_1$  и  $X_2$  невозможно достичь заявленной в ПОС продолжительности выполнения СМР, т.е. необходимо искать удовлетворяющие решения данной задачи, увеличивая значения ограниченных факторов. Заданные ограничения привели к увеличению минимальной продолжительности выполнения СМР на 5% и уменьшению максимального значения данного показателя на 77,7%.

Сложившаяся ситуация возможна в случае, когда с целью достижения рационального организационного режима, вызванного непростой организацией работы рассматриваемого объекта, и соблюдения заданной продолжительности выполнения СМР при реконструкции необходимо всячески уменьшать значение рассматриваемых временных факторов.

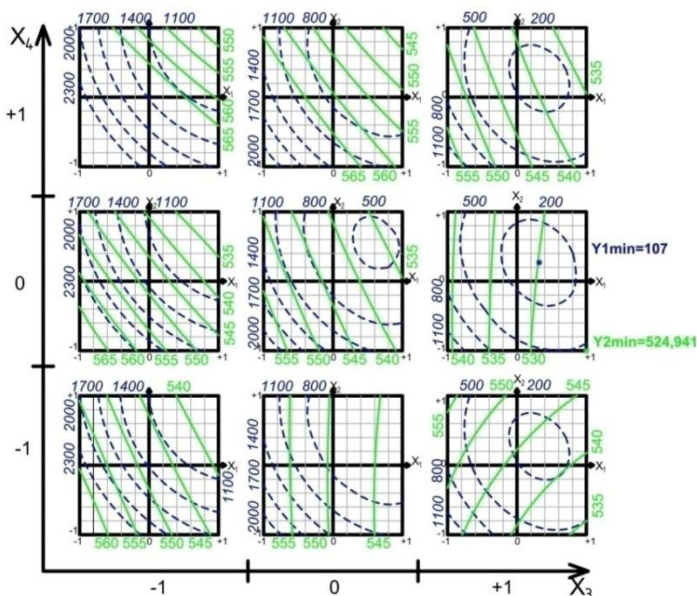
*Зададимся целью поиска компромиссного решения при определении оптимального организационного режима производства работ при проведении реконструкции с минимальной продолжительностью и стоимостью производства СМР.*

При рассмотрении [рис. 3.19](#), можно с определенной погрешностью определить экстремальные значения исследуемых показателей (продолжительности проведения СМР и стоимости производства СМР).

Рассмотрев диаграмму, можно определить минимальные значения рассматриваемых показателей:

- по показателю продолжительности выполнения СМР  $Y_{1\min} = 104$  дня;
- по показателю стоимости производства СМР  $Y_{2\min} = 524,941$  млн. руб.





Условные обозначения:

- 500 - изолинии продолжительности выполнения строительно-монтажных работ (измеритель - дни)
- 555 - изолинии общей стоимости общестроительных работ (измеритель - млн.руб)

$X_1$  -Количество смен в сутки

$X_2$  -Количество рабочих дней в неделю

$X_3$  - Коэффициент совмещения работ, %

$X_4$  - Величина условно-постоянных расходов, тыс.руб/мес.

Рис. 3.19 Совмещенная диаграмма продолжительности и стоимости производства СМР

При выборе компромиссного решения по заданным критериям организационных режимов производства работ нужно выделить, что ведущим критерием будет значение показателя стоимости производства СМР, так как он имеет приоритет над показателем продолжительности выполнения СМР и риски, связанные с изменением стоимости строительства, являются определяющими при выборе организационных режимов выполнения работ.

Рациональным решением будет привести значение показателя стоимости производства СМР к минимуму, при этом учитывая, что значение показателя длительности выполнения СМР должно находиться в пределах, предложенных в ПОС (570 дней). Стоимость производства СМР, равная 524, 941 млн. руб., достигается при значениях факторов:

- количество рабочих смен в сутки  $X_1 = +1$  (3 смены в сутки);
- количество рабочих дней в неделю  $X_2 = -1$  (3 дня в неделю);
- коэффициент совмещения работ  $X_3 = +1$  (63%);
- величина условно-постоянных расходов  $X_4 = 0$  (500 тыс. руб./мес.).

При этом значении показателя  $U_2$  равно 550 дней (что меньше предложенного в ПОС срока, равного 570 дней).

Вследствие введения ограничений произошло уменьшение значения стоимости производства СМР (максимальное значение показателя уменьшилось на 0,59%), а значение продолжительности выполнения СМР уменьшилось на 3,5% по сравнению с значениями, заданными в ПОС (528,042 млн. руб. и 570 дней соответственно).

Только для  
некоммерческого  
использования



### Выводы по разделу 3

1. В настоящем разделе решена задача выбора эффективного организационного решения реконструкции Останкинской телебашни путем планирования численного эксперимента, экспериментально-статистического моделирования производственных процессов с использованием современных программных продуктов и оптимизации моделей по критериям, продолжительности, стоимости выполнения СМР и интенсивности финансирования.
2. Проведённый анализ результатов технического обследования, а также проекта реконструкции Останкинской телебашни позволил определить наиболее важные показатели, а также факторы, имеющие на них наибольшее влияние.
3. Экспериментально-статистическое моделирование строительных процессов и полученные закономерности изменения исследуемых показателей позволяют определить продолжительность реконструкции Останкинской телебашни, интенсивность финансирования и стоимость производства СМР под влиянием величин варьируемых факторов (количества рабочих смен в сутки, рабочих дней в неделю, коэффициента совмещения работ и величины условно-постоянных расходов).
4. Результаты моделирования организационных решений реконструкции реального объекта (Останкинской телебашни) показали, что при изменении факторов в исследуемых пределах основные критерии эффективности могут существенно изменяться, а именно:
  - продолжительность выполнения СМР – от 107 до 3368 рабочих дней;
  - интенсивность финансирования проекта – от 4669 тыс. руб. до 42385 тыс. руб. в месяц;
  - стоимость производства СМР – от 599,8 млн. руб. до 524,941 млн. руб.
5. Степень влияния каждого из факторов на исследуемый показатель различна:
  - количество рабочих смен в сутки – 60% на продолжительность реконструкции в зоне минимальных значений и 83% в зоне мак-

симула, 90% на интенсивность финансирования в зоне минимальных значений и 77% в зоне максимума, 75% на стоимость производства СМР в зоне минимума и 62% в зоне максимальных значений.

- количество рабочих дней в неделю – 43% на продолжительность реконструкции в зоне минимума и 67% в зоне максимума, 75% на интенсивность финансирования в зоне минимальных значений и 65% в зоне максимума, 12% на стоимость производства СМР в зоне минимума и 66% в зоне максимума.
- коэффициент совмещения работ – 100% на продолжительность реконструкции в зоне минимальных значений и 100% в зоне максимума, 100% на интенсивность финансирования в зоне минимальных значений и 100% в зоне максимума, 100% на стоимость производства СМР в зоне минимума и 100% в зоне максимальных значений.
- величина условно-постоянных расходов – 3% на продолжительность реконструкции в зоне минимальных значений и 1% в зоне максимума, 2% на интенсивность финансирования в зоне минимальных значений и 0% в зоне максимума, 66% на стоимость производства СМР в зоне минимума и 82% в зоне максимальных значений.

#### 4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Анализ информационных источников ([подраздел 1.1](#)) показал, что в Украине имеется большое количество решётчатых стальных конструкций, которые эксплуатируются много лет. Среди таких высотных сооружений как минимум одно (башня радицентра в Броварах) требует проведения противоаварийных мероприятий. Специфика конструктивного решения таких объектов может потребовать особых режимов таких работ. Решётчатая конструкция башен обуславливает сложность замены или восстановления отдельных несущих элементов металлоконструкций. Одним из способов проведения противоаварийных, а впоследствии и реконструкционных работ на таких объектах является использование метода «вывешивания». Его суть заключается в последовательном выведении отдельных несущих элементов металлоконструкций из напряжённо-деформированного состояния путём переноса части нагрузки на временные несущие конструкции.

Одним из наиболее близких аналогов высотных сооружений за рубежом, требующих таких мероприятий, является радиобашня им. Шухова. Она имеет похожее конструктивное решение. Для осуществления противоаварийных мероприятий, являющихся первым этапом восстановительных работ, был разработан проект, предполагающий «вывешивание» конструкций Шуховской радиобашни. В настоящем разделе приведён пример оптимизации конструктивно-технологических решений противоаварийных мероприятий высотного инженерного сооружения.

##### 4.1 Анализ результатов технического обследования аварийного объекта

*Описание конструкции радиобашни им. Шухова.*

Башня состоит из шести секций, каждая высотой около 25 м. Диаметр в основании башни составляет 40,3 м., а на верхней площадке 3,4 м.

Основой геометрического построения каждой из шести секций башни является однополостный гиперболоид вращения с прямолинейными образую-

щими. Причем конечные точки каждой образующей, лежащие одна – на нижней окружности, и другая – на верхней окружности, расположены в двух взаимно перпендикулярных радиальных плоскостях. Четыре нижних секции имеют двадцать четыре образующих одного направления и соответственно столько же образующих другого направления.

Конструктивно стержневой каркас каждой секции образован наклонными прямолинейными стержнями – стойками двух направлений, оси которых параллельны образующим, и промежуточными горизонтальными кольцами. Оси трех семейств конструктивных элементов не пересекаются, а разнесены в пространстве и расположены на трех вложенных друг в друга гиперблоидах. Первый наружный слой образуют прямолинейные стержни – стойки, наклоненные в правую сторону (при взгляде снаружи на ось башни), второй слой образуют стержни, наклоненные в левую сторону. Третий внутренний слой образуют кольца. Таким образом, образующие исходного гиперблоида совпадают со средними линиями полок прокатных профилей, из которых они изготавливались: уголков и швеллеров. В местах касания этих полок стержни соединены между собой. Плоскости колец расположены приблизительно на равных расстояниях по высоте и не привязаны к узлам пересечения стоек.

Кольца в плоскостях сопряжений секций выполнены в виде ферм и имеют большую жесткость. В местах пересечений прямолинейные стойки соединяются между собой заклепками или болтами через стальные прокладки. Соединение стоек между собой, а также постановка промежуточных колец увеличивают жесткость всего сооружения и локальную жесткость стоек. Для изготовления башни использован горячекатаный прокат швеллерного и уголкового профиля, произведенного в основном в Германии. Для соединений использовались преимущественно заклепки.

Первой особенностью конструкции является отсутствие центровки узлов соединения элементов: оси не только не пересекаются, но даже расположены в разных плоскостях. С точки зрения линейной статики это мало влияет на напряженное состояние конструкции, поскольку узловые соединения не участвуют в передаче основных усилий прямолинейных стержней. Эти усилия практически постоянны по всей длине между кольцами в горизонтальных плоскостях на стыке секций. Именно на этих кольцах, выполненных в виде относительно более жестких кольцевых ферм, происходит перераспределение усилий между стержнями соседних секций. Промежуточные кольца вообще не

участвуют в восприятии основных усилий, а служат в основном для обеспечения устойчивости сжатых стоек.

Второй особенностью данного конструктивного решения является то, что прямолинейные наклонные стержни закручены вокруг своей продольной оси в пределах одной секции на угол около  $90^\circ$ . На общее напряжённое состояние это обстоятельство также не оказывает существенного влияния, так как стержни работают по схеме центрально сжатого стержня, в основном на продольное усилие с незначительными изгибающими моментами от местной нагрузки.

Однако оценка общей устойчивости этой конструкции в силу отмеченных выше конструктивных особенностей, является чрезвычайно сложной задачей, которую до появления современных программных комплексов конечно-элементного анализа аналитически никто решить даже не пытался.

Башня была построена в кратчайшие сроки в условиях дефицита качественного материала и простояла без капитального ремонта 88 лет. С 1947 года на башню устанавливались дополнительные конструктивные элементы и оборудование. Общая нагрузка увеличивалась. По результатам частичных обследований несущая конструкция имеет многочисленные дефекты и существенные коррозионные повреждения. Ослабление сечений элементов от щелевой коррозии в местах большинства узловых соединений достигает 50%.

Техническая документация по башне отсутствует. Оценка несущей способности башни выполнялась на основе упрощенных расчетных моделей в линейной постановке, без учета начальных отклонений от проектной формы и поэтому является завышенной. Использовались необоснованные параметры расчетных длин стоек. Полностью отсутствуют оценки несущей способности узлов.

#### *Эксплуатация башни.*

Башня смонтирована в 1920 г. Техническая документация – технический проект, рабочие чертежи и расчеты – не сохранилась. В 1937 г. для прокладки фидера по высоте башни установлена металлическая двухстворчатая ферма и выполнены площадки на отметках 141,763 м., 144,3 м. и 148,378 м., а также был выполнен поверочный расчет башни. В результате расчета рекомендовалось до установки дополнительных антенн поставить для уменьшения

гибкости стоек 17 промежуточных колец. Московский телевизионный центр эти рекомендации не выполнил, тем не менее, были дополнительно установлены антенны турникетного типа на отметке 148,34 м. (высота антенны 9,94 м.) и антенны с плоским рефлектором на отметке 124,46 м. (высота антенны 17,3 м.) с подведением к ним двух фидерных линий длиной 140 м. каждая. До 1971 г. было установлено еще 15 антенн. Антикоррозионная защита выполнялась в виде окраски металлоконструкций башни и проводилась в 1940 г., 1950 г. и в 1964 г., т. е. более 50 лет назад.

Общие выводы технического обследования.

1. Техническая документация (в том числе чертежи конструкций) по башне отсутствует.
2. С 1947 года на башню устанавливались дополнительные конструктивные элементы и оборудование. Общая нагрузка увеличилась.
3. В разные годы различными организациями выполнялись частичные обследования башни. Обследовались только доступные элементы и узлы, что составляет не более 25% от общего их количества.
4. Из результатов последних обследований следует, что обнаружено большое число различных дефектов: отсутствие соединительных элементов, трещины в сварных швах, прогибы основных несущих элементов и др. Кроме того, уменьшение сечения конструктивных элементов от поверхностной коррозии составляет 10-15%, а ослабление сечений элементов от щелевой коррозии в местах большинства узловых соединений достигает 50%.
5. Оценка несущей способности башни выполнялась на основе упрощенной расчетной модели в линейной постановке, без учета начальных отклонений от проектной формы и поэтому является завышенной. Использовались необоснованные параметры расчетных длин стоек.
6. Полностью отсутствуют оценки несущей способности узлов.

*Рекомендации по производству реконструкционных работ.*

Для полного комплекса восстановительных мероприятий на радиобашне им. Шухова следует выполнить следующие реконструкционные работы:

1. Выполнить демонтаж оборудования, металлоконструкций. Удалить бетонирование опорных узлов башни с целью обеспечения их шарнирной работы, как это было изначально запроектировано В. Г. Шуховым.
2. В ходе комплекса противоаварийных мероприятий смонтировать временную опорную конструкцию, с помощью которой произвести «вывешивание» элементов башни. В ходе возведения конструкции выполнить работы по устройству свайного основания, железобетонного ростверка, монтаж и окраску металлоконструкций временных опор, монтаж оборудования и приспособлений для «вывешивания» башни.
3. Выполнить реконструкцию несущих элементов радиобашни, в ходе которой: заменить отдельные части конструкций, выполнить восстановление и эффективную антикоррозионную обработку остальных элементов (например, путём металлизации), установить системы компьютерного мониторинга состояния радиобашни, выполнить благоустройство прилегающей территории.

Для выполнения комплекса работ на радиобашне им. Шухова может потребоваться специальное технологическое решение или выбор организационных режимов работ. Например, с учётом специфики и большой высоты сооружения может потребоваться совмещение нескольких технологий работ по высотным захваткам башни. Для сокращения сроков реконструкции может потребоваться необходимость в некотором совмещении строительных процессов во времени или обеспечение работы по специальному расписанию (в ночную смену, семь дней в неделю и т. д.).

#### **4.2 Алгоритм оптимизации конструктивно-технологических решений противоаварийных мероприятий**

Для решения задачи оптимизации проекта противоаварийных мероприятий на башне им. Шухова был проведён численный эксперимент по моделированию вариантов конструктивно-технологических решений этих работ. При проведении численного исследования использовались теории оптимального планирования эксперимента, экспериментально-статистического моделирования, современное программное обеспечение для построения календарно-сетевых моделей строительного производства.

Решение задач оптимизации состоит из следующих этапов:

- анализ проектно-сметной документации по реализации проекта противоаварийных мероприятий, которые являются первым из запланированных этапов восстановления башни им. Шухова;
- выбор конструктивно-технологических альтернатив проектному решению, выбор критериев оптимизации и плана численного эксперимента;
- укрупнённый расчёт и построение календарно-сетевых моделей комплекса противоаварийных мероприятий в программе MS Project в соответствии с выбранным планом численного эксперимента;
- математическая обработка результатов моделирования конструктивно-технологических решений противоаварийных мероприятий;
- выбор оптимальных конструктивно-технологических параметров в соответствии с имеющимися ограничениями в технологии, организации и финансировании проекта противоаварийных мероприятий.

Проведение численного исследования по разработанному алгоритму позволяет обоснованно выбрать оптимальные организационно-технологические решения по проведению комплекса противоаварийных работ в сложных технологических условиях, а также при ограниченном финансировании. При проведении исследования использована сметная документация, отражающая актуальные затраты на проведение строительно-монтажных работ. Построение графиков реконструкции позволяет корректно отобразить последовательность и принятые технологические решения при проведении высотных работ. Методика позволяет дать количественную оценку альтернатив конструктивно-технологических решений при изменяющихся вариантах организации комплекса противоаварийных работ, условий финансирования и имеющихся ограничений.

На [рис. 4.1](#) показана блок-схема методики исследования по оптимизации проекта противоаварийных мероприятий на башне им. Шухова.

Подробный алгоритм проведения подобных исследований приведён в [подразделе 2.2.](#)

После создания моделей (графиков) строительного производства на основании принятого плана численного эксперимента следует построить ЭС-модель комплекса противоаварийных мероприятий. Построение ЭС-модели



заключается в нахождении коэффициентов математической модели, адекватно описывающей проект противоаварийных работ в заданных пределах факторного пространства. ЭС-модель позволит построить зависимости наиболее важных показателей от влияющих факторов, сделать их анализ, исследовать области оптимума в соответствии с выбранными критериями.

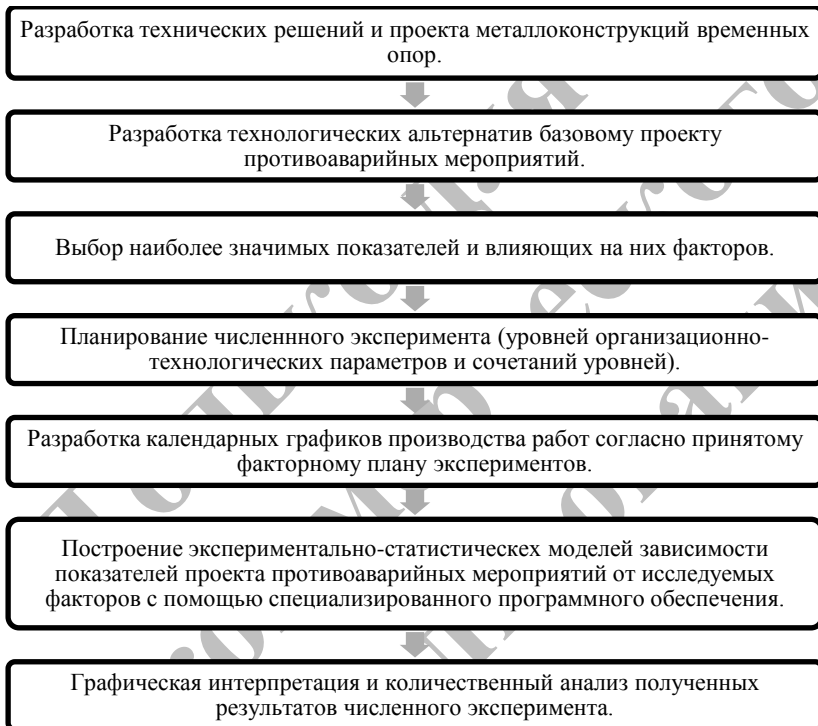


Рис. 4.1. Блок-схема методики исследования по оптимизации проекта противоаварийных мероприятий на башне им. Шухова

Ниже приведён алгоритм анализа результатов исследования.

1. Предварительный анализ наиболее общих закономерностей исследования путём анализа матрицы (таблицы) результатов эксперимента.

2. Построение базовых многомерных графиков зависимости показателей от всех факторов, их анализ и поиск областей факторного пространства, содержащих точки оптимума.
3. Ранжирование факторов по степени влияния на показатели в зоне средних значений факторов.
4. Сравнение нескольких точек оптимума по выбранным критериям: организационным, технологическим, финансовым и др.
5. Построение много- и одномерных графиков с введением ограничений по значениям показателей и факторов.
6. Построение окончательных организационно-технологических моделей противоаварийных мероприятий с учётом найденных оптимальных решений и требуемой детализации.

#### **4.3 Обоснование принятого плана численного эксперимента для построения ЭС-модели**

Противоаварийные мероприятия заключаются в возведении временных несущих опор внутри конструкций башни им. Шухова с последующим «вывешиванием» элементов башни, что позволит снизить нагрузку на аварийные несущие конструкции сооружения. В дальнейшем временные конструкции можно использовать в качестве опор для строительной оснастки при проведении реконструкции башни. После проведения реконструкции и выполнения необходимых мероприятий по сохранению объекта культурного наследия временные опоры планируется демонтировать.

Проект противоаварийных мероприятий включает в себя следующие комплексы работ:

- демонтажные работы;
- устройство свайного основания и монолитного ростверка под временные несущие конструкции;
- изготовление и монтаж металлоконструкций опор;
- «вывешивание» элементов башни им. Шухова;
- огрунтовка и окраска металлоконструкций.

Основными работами при проведении комплекса противоаварийных мероприятий являются изготовление и монтаж временных несущих конструкций. В проектной документации показано устройство колонн временных конструкций из пустотных труб диаметром 1020 и 720 мм., с их последующим частичным заполнением бетоном. Стыки трубчатых колонн, а также соединения в узлах примыкания колонн, связей, распорок и консолей временных несущих конструкций приняты сварными. Однако, устройство большого количества сварных соединений на значительной высоте (до 100 м.) проблематично. В этой связи было принято в качестве альтернативной технологии устройства колонн выполнять стыки фланцевыми, на болтовых соединениях. Для экономии денежных и трудовых ресурсов предложено уменьшить высоту заполнения стальных колонн бетоном. Для компенсации показателей жёсткости этих временных конструкций при меньшей высоте заполнения колонн бетоном увеличена толщина стенки трубных элементов – стальных колонн.

В качестве наиболее значимых приняты следующие показатели:

- Длительность монтажа временных несущих конструкций ( $Y_1$ ) – период производства работ, включающий в себя монтаж металлоконструкций колонн, связей, распорок, лестниц и площадок, а также работы по заполнению колонн бетоном.
- Полные затраты на реализацию проекта с начислениями ( $Y_2$ ) – сумма прямых затрат и условно-постоянных расходов на противоаварийные мероприятия. Прямые затраты приняты в соответствии со сметной документацией, с учётом необходимых сметных коэффициентов и начислений. Условно-постоянные расходы приняты, по экспертной оценке, равными 500 тыс. руб./мес.
- Интенсивность финансирования проекта ( $Y_3$ ) – отношение полных затрат на комплекс противоаварийных мероприятий к полной длительности, выраженной в месяцах.

В качестве факторов, наиболее существенно влияющих на указанные показатели, приняты:

- Варианты конструктивно-технологических решений устройства временных несущих конструкций (КТР):

1. устройство с помощью сварных соединений временных несущих конструкций в виде полых колонн с последующим заполнением бетоном до отметки +24,65 м. – КТР1;
  2. использование фланцевых соединений при устройстве временных несущих конструкций в виде полых колонн с заполнением бетоном до отметки +1,50 м., при условии увеличении толщины стенок трубных элементов – КТР2.
- Степень укрупнения монтируемых элементов колонн ( $X_1$ ) – предполагает условно непрерывное изменение степени укрупнения элементов в пределах веса одного монтируемого элемента от 1 до 10 т. Это соответствует минимально и максимально возможному весу элементов с учётом грузоподъёмности механизмов, условий производства работ и техники безопасности.
  - Количество рабочих, занятых на монтаже металлоконструкций ( $X_2$ ) – принято в пределах от 5 до 15 человек. Фактор учитывает возможность постановки одного, двух или трёх полиспастов обслуживания. При этом общее количество рабочих разделяется на звенья в соответствии с наличием полиспастов.

Следует отметить, что фактор «варианты конструктивно-технологических решений временных несущих конструкций» относится к типу «качественных» (см. [подраздел 2.4](#)). Это означает, что уровни данного фактора дискретны, их невозможно описать с помощью какой-либо численной шкалы. Уровни данного фактора обозначены как КРТ1 и КРТ2. Поэтому план содержит две серии экспериментов с единой шкалой уровней единиц измерения показателей и факторов  $X_1$  (степень укрупнения монтируемых элементов колонн) и  $X_2$  (количество рабочих, занятых на монтаже металлоконструкций). Эти две серии образуют два факторных подпространства – для КТР1 и КТР2. План такого типа позволит корректно сравнить результаты двух серий экспериментальных исследований в условно едином факторном пространстве.

План эксперимента с использованием факторов, приведённых выше, показан в [таблице 4.1](#).

Таблица 4.1

План эксперимента

№ точки	Степень укрупнительной сборки монтируемого элемента М/К колонн ( $X_1$ ), %.		Количество рабочих, занятых на монтаже М/К ( $X_2$ ), чел.	
	Нормализованные значения	Натурные значения	Нормализованные значения	Натурные значения
Конструктивно-технологическое решение №1 – КТР1				
1.1	-1	0%	-1	5
1.2	0	50%	-1	5
1.3	+1	100%	-1	5
1.4	-1	0%	0	10
1.5	0	50%	0	10
1.6	+1	100%	0	10
1.7	-1	0%	+1	15
1.8	0	50%	+1	15
1.9	+1	100%	+1	15
Конструктивно-технологическое решение №2 – КТР2				
2.1	-1	0%	-1	5
2.2	0	50%	-1	5
2.3	+1	100%	-1	5
2.4	-1	0%	0	10
2.5	0	50%	0	10
2.6	+1	100%	0	10
2.7	-1	0%	+1	15
2.8	0	50%	+1	15
2.9	+1	100%	+1	15

#### 4.4 Предпосылки для проведения расчёта

Для определения корректных величин трудовых и финансовых затрат при производстве работ была использована сметная документация. По результатам её анализа с помощью специального инструмента MS Excel – «сводных

таблиц» – была составлена [таблица 4.2](#), содержащая укрупнённую номенклатуру работ, их сметную трудоёмкость и финансовые затраты. При составлении смет, как правило, используются базисные цены, например, 2001 года. Инфляция, местоположение объекта и другие начисления учитываются только при определении итоговой суммы.

Поэтому в приведённых суммах ([табл. 4.2](#)) условно принят одинаковый для всех работ коэффициент перевода, учитывающий указанные выше начисления. Коэффициент был рассчитан путём деления итоговой сметной стоимости с начислениями на сумму прямых затрат.

При анализе [таблицы 4.2](#) видно, что сметная стоимость работ по изготовлению и монтажу металлоконструкций колонн отличаются в зависимости от типа КТР. Изменение величины затрат вызвано тем, что при изготовлении и монтаже металлоконструкций на болтовых соединениях следует учитывать стоимость фланцев, болтов, гаек и шайб.

Для корректного построения графиков строительного производства работы по монтажу колонн, связей, распорок, лестниц и площадок были разделены на отдельные процессы, соответствующие технологическим захваткам. Отдельно были выделены процессы укрупнительной сборки и монтажа металлоконструкций колонн, так как эти процессы являются непосредственным объектом оптимизации данного исследования. При построении графиков работ объект был разделён на четыре технологических яруса:

1. в высотных отметках 0,00: +24,65 м.;
2. в высотных отметках +24,65: +46,40 м.;
3. в высотных отметках +46,40: +73,10 м.;
4. в высотных отметках +73,10: +98,10 м.

Увязка работ во всех графиках выполнялась с учётом поточной организации работ: в то время как одна бригада монтажников осуществляет высотный монтаж распорок и консолей, вторая выполняет укрупнительную сборку колонн для следующего яруса, монтаж лестниц и площадок на нижнем ярусе. Безопасность производства работ в таком случае обеспечивается взаимным смещением бригад в горизонтальной плоскости. Анализ выполненных графиков показал, что процессы укрупнительной сборки колонн, монтаж лестниц и площадок не находятся на критическом пути.

4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Таблица 4.2

Анализ сметной трудоёмкости и затрат

Названия работ	Трудозатраты, чел-час.		Затраты с коэффициентом, руб.	
	КТР1	КТР2	КТР1	КТР2
<b>Демонтажные работы</b>	<b>4 987,85</b>	<b>4 987,85</b>	<b>29 193 876,81</b>	<b>29 193 876,81</b>
Вертолётный демонтаж 7-ой секции	378	378	26 325 451,04	26 325 451,04
Демонтаж металлоконструкций лестничной клетки и площадок	1 260,00	1 260,00	767 299,56	767 299,56
Демонтаж лифта грузового	1 602,00	1 602,00	160 483,37	160 483,37
Демонтаж фундаментов	1 664,96	1 664,96	1 809 138,96	1 809 138,96
Вывоз строительного мусора	82,89	82,89	131 503,87	131 503,87
<b>Устройство свайного основания, бетонирование</b>	<b>3 934,44</b>	<b>1 676,99</b>	<b>7 745 534,01</b>	<b>3 857 162,55</b>
Устройство буроналивных свай	1 286,33	1 286,33	2 861 624,22	2 861 624,22
Устройство монолитного ростверка	253,72	253,72	759 675,24	759 675,24
Бетонирование колонн несущих конструкций	2 394,39	136,93	4 124 234,55	235 863,09
<b>Изготовление металлоконструкций</b>	<b>33 739,00</b>	<b>35 543,00</b>	<b>34 244 250,46</b>	<b>37 316 007,30</b>
Изготовление М/К усиления	30 439,00	32 243,00	31 120 016,36	34 191 773,19
Изготовление М/К лестниц и площадок	3 300,00	3 300,00	3 124 234,11	3 124 234,11
<b>Монтаж металлоконструкций</b>	<b>24 988,28</b>	<b>24 988,28</b>	<b>17 502 538,62</b>	<b>18 573 914,60</b>
Установка монтажных устройств и защитных ограждений	1 281,00	1 281,00	337 750,02	337 750,02
Монтаж М/К колонн	4 537,53	4 537,53	4 899 566,94	5 970 942,92
Монтаж М/К связей и распорок	5 936,53	5 936,53	4 625 307,16	4 625 307,16

Содержание

Продолжение таблицы 4.2

Монтаж М/К лестниц и площадок	4 046,22	4 046,22	2 955 998,34	2 955 998,34
«Вывешивание» элементов башни	9 187,00	9 187,00	4 683 916,17	4 683 916,17
<b>Антикоррозийная защита металлоконструкций</b>	<b>9 149,00</b>	<b>9 149,00</b>	<b>2 911 680,68</b>	<b>2 911 680,68</b>
Установка и снятие строительной оснастки	8 350,00	8 350,00	1 582 260,07	1 582 260,07
Очистка металлоконструкций щётками	605	605	130 900,29	130 900,29
Огрунтовка металлоконструкций	32	32	32 365,87	32 365,87
Окраска металлоконструкций	162	162	1 166 154,45	1 166 154,45
<b>Общий итог</b>	<b>76 798,58</b>	<b>76 345,12</b>	<b>91 597 880,59</b>	<b>91 852 641,94</b>



Для выбора вариантов выполнения работ был составлен перечень технологических операций по возведению колонн временных конструкций по различным конструктивно-технологическим решениям. Он показан в [таблице 4.3](#). Таблица содержит распределение затрат ресурсов между производственными операциями при конструктивно-технологическом решении №1 и №2 и различных уровнях фактора  $X_1$ . Данное распределение составлено по результатам экспертной оценки. Следует отметить, что операции по сборке и монтажу укрупнённых элементов колонн (строки 1 и 5 [табл. 4.3](#)) имеют различное распределение затрат ресурсов для двух типов конструктивно-технологического решения элементов металлоконструкций. С помощью коэффициентов учтена соответствующая разница в трудозатратах и их стоимости.

В [таблице 4.3](#) выделены различные уровни фактора  $X_1$ , что показано в соответствующих колонках (колонки 2, 3 и 4). Отметим, что затраты ресурсов при транспортировке и установке элементов металлоконструкций колонн различны (строки 2, 3, 4 и 6 [табл. 4.3](#)). Отличие связано с изменением производственного процесса. Анализ коэффициентов показывает, что они обратно пропорциональны степени укрупнения монтируемого элемента.

Строка 7 [таблицы 4.3](#) представляет собой сумму коэффициентов при каждой операции монтажа. Таким образом, получен итоговый поправочный коэффициент. Он использован при корректировке значений затрат труда и денежных затрат, которые впоследствии были внесены в графики производства работ. Для удобства поправочные коэффициенты показаны отдельно для работ по укрупнительной сборке и монтажу элементов в проектное положение (строки 8, 9 [таблицы 4.3](#)).

#### 4.5 Результаты экспериментально-статистического моделирования

В настоящем разделе проведён анализ результатов исследования по оптимизации проекта противоаварийных мероприятий на башне им. Шухова. Объектом оптимизационного исследования является процесс возведения временных несущих конструкций. Их назначение – поддерживать аварийное сооружение до и во время работ по реконструкции. Оптимизация конструктивно-технологического решения направлена на удешевление и ускорение процесса возведения временных конструкций и их демонтажа после восстановления основных конструкций башни.

Таблица 4.3

Коэффициенты распределения затрат ресурсов по технологическим операциям и поправочные коэффициенты в зависимости от степени укрупнительной сборки

№	Наименование технологической операции	Коэффициент при монтаже М/К без укрупнительной сборки (условный вес элемента 1 т.)	Коэффициент при монтаже М/К со степенью укрупнительной сборки 50% (условный вес элемента 5 т.)	Коэффициент при монтаже М/К со степенью укрупнительной сборки 100% (условный вес элемента 10 т.)
	1	2	3	4
1	Укрупнительная сборка монтируемого элемента М/К (при КТР1/КТР2)	0/0	0,52/0,346	0,585/0,39
2	Установка строповочных приспособлений	0,025	0,005	0,0025
3	Подъем элемента М/К к месту монтажа	0,1	0,02	0,01
4	Установка и выверка монтируемого элемента	0,2	0,04	0,02
5	Монтаж в проектное положение (при КТР1/КТР2)	0,65/0,433	0,13/0,086	0,065/0,043
6	Снятие строповки	0,025	0,005	0,0025
7	<b>Итоговый поправочный коэффициент</b>	<b>1/0,783</b>	<b>0,72/0,502</b>	<b>0,685/0,468</b>
8	· в т.ч. на укрупнительную сборку	0/0	0,52/0,346	0,585/0,39
9	· в т.ч. на транспортировку к месту монтажа и монтаж в проектное положение	1/0,783	0,2/0,156	0,1/0,078

Содержание

4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

Таблица 4.4

Матрица результатов исследования

№ точ-ки.	Степень укрупнительной сборки монтируемого элемента М/К колонн ( $X_1$ ), %.		Количество рабочих, занятых на монтаже М/К ( $X_2$ ), чел.		Длительность монтажа М/К ( $Y_1$ ), раб. дней	Интенсивность финансирования проекта ( $Y_3$ ), тыс. руб./мес.	Полные затраты на реализацию проекта ( $Y_2$ ), тыс. руб.
	Нормализованные значения	Натурные значения	Нормализованные значения	Натурные значения			
1.1	-1	0%	-1	5	316	7 160,38	98 474,21
1.2	0	50%	-1	5	229	8 878,23	95 610,55
1.3	1	100%	-1	5	221	9 162,19	95 252,65
1.4	-1	0%	0	10	158	11 205,90	95 875,80
1.5	0	50%	0	10	114	13 272,85	93 757,95
1.6	1	100%	0	10	110	13 594,12	93 493,26
1.7	-1	0%	1	15	105	13 923,76	95 009,66
1.8	0	50%	1	15	76	15 978,70	93 140,52
1.9	1	100%	1	15	73	16 285,84	92 906,90
2.1	-1	0%	-1	5	269	7 903,22	96 673,00
2.2	0	50%	-1	5	198	9 396,64	92 969,56
2.3	1	100%	-1	5	189	9 645,06	92 621,07
2.4	-1	0%	0	10	134	12 116,72	94 454,65
2.5	0	50%	0	10	99	13 832,59	91 658,92
2.6	1	100%	0	10	94	14 050,34	91 060,08
2.7	-1	0%	1	15	89	14 836,34	93 715,25
2.8	0	50%	1	15	66	16 396,89	90 791,15
2.9	1	100%	1	15	63	16 642,98	90 539,65

Содержание

Для оптимизации проекта противоаварийных работ было проведено экспериментально-статистическое моделирование процесса возведения временных опор. В процессе моделирования были исследованы следующие показатели (подробнее в [подразделе 4.3](#)):

- длительность монтажа временных несущих конструкций ( $Y_1$ );
- полные затраты на реализацию проекта с начислениями ( $Y_2$ );
- интенсивность финансирования проекта ( $Y_3$ ).

На показанные выше показатели наиболее существенное влияние оказывают следующие факторы (подробнее в [подразделе 4.3](#)):

- варианты конструктивно-технологических решений устройства временных несущих конструкций (КТР1 или КТР2);
- степень укрупнения монтируемых элементов колонн ( $X_1$ );
- количество рабочих, занятых на монтаже металлоконструкций ( $X_2$ ).

Матрица результатов эксперимента приведена в [таблице 4.4](#). В ней показаны значения показателей в различных точках факторного пространства, а также уровни варьирования факторов, при которых были получены соответствующие значения показателей.

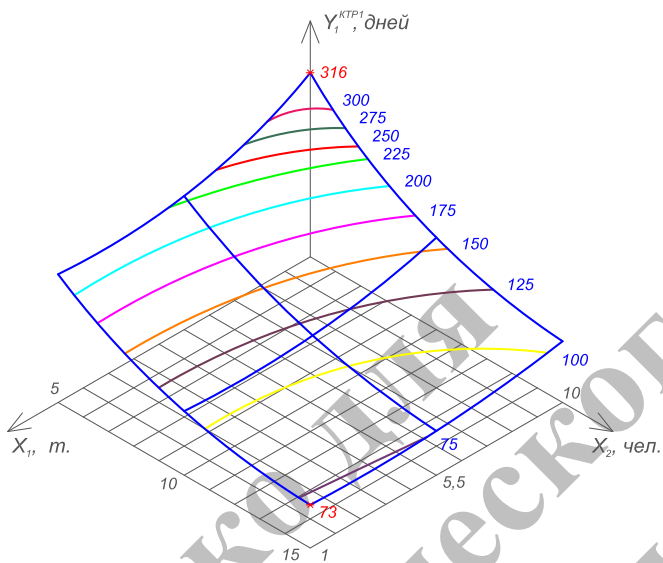
Проанализируем [таблицу 4.4](#). Отметим, что показатели «длительность монтажа временных несущих конструкций» и «полные затраты на реализацию проекта с начислениями» имеют несколько более низкие значения при КТР2. Данное наблюдение справедливо во всех областях факторного пространства. Для значений показателя «интенсивность финансирования проекта» изменение уровня фактора «варианты конструктивно-технологических решений» не имеет существенного влияния.

[Формулы 4.1](#) и [4.2](#) являются ЭС-моделями показателя «длительность монтажа временных несущих конструкций» в аналитическом виде (при КТР1 и КТР2). На [рисунке 4.2](#) данные модели представлены в графическом виде.

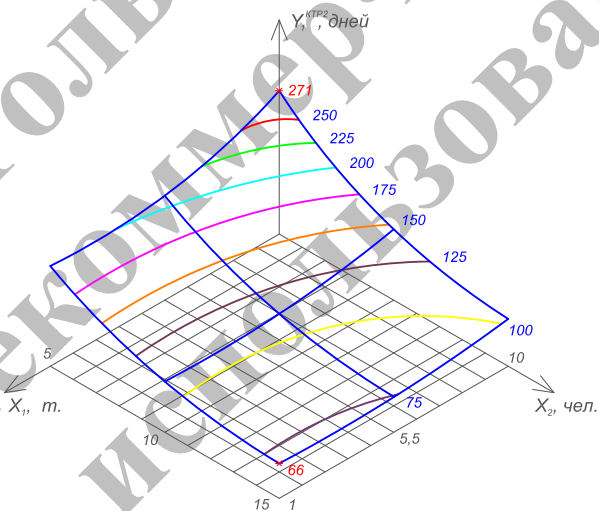
$$Y_1^{\text{КТР1}} = \text{EXP}(4,744 - 0,179 x_1 + 0,14 x_1^2 + \bullet - 0,549 x_2 + 0,144 x_2^2); \quad (4.1)$$

$$Y_1^{\text{КТР2}} = \text{EXP}(4,593 - 0,167 x_1 + 0,138 x_1^2 + 0,012 x_1 x_2 - 0,541 x_2 + 0,152 x_2^2); \quad (4.2)$$

4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ



Конструктивно-технологическое решение №1 (KTR1)



Конструктивно-технологическое решение №2 (KTR2)

Рис. 4.2 Закономерности изменения показателя «длительность монтажа временных несущих конструкций» при использовании разных вариантов конструктивно-технологического решения колонн временных конструкций

[Формулы 4.3](#) и [4.4](#) являются ЭС-моделями показателя «полные затраты на реализацию проекта с начислениями» в аналитическом виде (при КТР1 и КТР2). На [рисунке 4.3](#) данные модели представлены в графическом виде.

$$Y_2^{\text{КТР1}} = EXP(11,449 - 0,012 x_1 + 0,009 x_1^2 + \bullet - 0,013 x_2 + 0,006 x_2^2); \quad (4.3)$$

$$Y_2^{\text{КТР2}} = EXP(11,424 - 0,019 x_1 + 0,015 x_1^2 + 0,002 x_1 x_2 - 0,013 x_2 + 0,005 x_2^2); \quad (4.4)$$

[Формулы 4.5](#) и [4.6](#) являются ЭС-моделями показателя «интенсивность финансирования проекта» в аналитическом виде (при КТР1 и КТР2). На [рисунке 4.4](#) данные модели представлены в графическом виде.

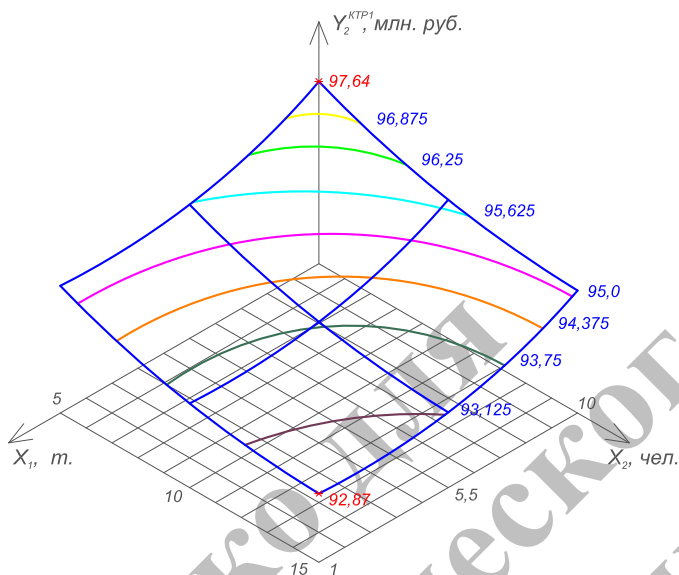
$$Y_3^{\text{КТР1}} = EXP(9,494 + 0,1 x_1 - 0,075 x_1^2 - 0,022 x_1 x_2 + 0,305 x_2 - 0,11 x_2^2); \quad (4.5)$$

$$Y_3^{\text{КТР2}} = EXP(9,535 + 0,077 x_1 - 0,058 x_1^2 - 0,021 x_1 x_2 + 0,289 x_2 - 0,108 x_2^2); \quad (4.6)$$

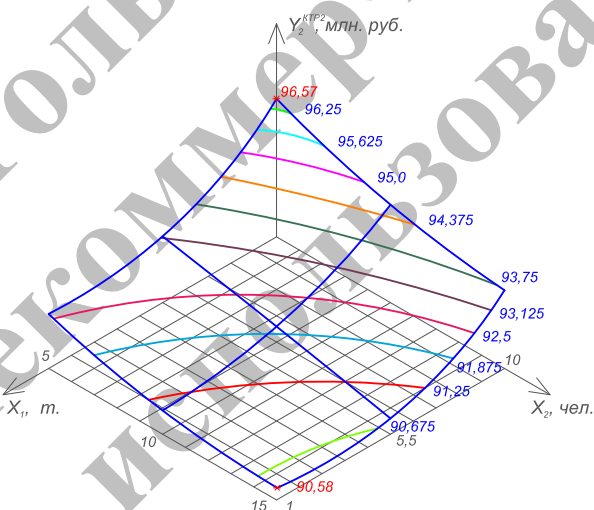
Анализ [рис. 4.2](#) показывает, что характер изменения показателя  $Y_1$  «длительность монтажа временных несущих конструкций» незначительно отличается в зависимости от принятого варианта КТР. И в одном, и в другом случае минимальные значения уровней факторов ( $X_1 = 1$  т.;  $X_2 = 5$  чел.) соответствуют максимальному значению показателя  $Y_{1\max}^{\text{КТР1}} = 316,0$  дней,  $Y_{1\max}^{\text{КТР2}} = 271,2$  дня. При уровнях ( $X_1 = 10$  т.;  $X_2 = 15$  чел.) моделирование показало минимальное значение показателя –  $Y_{1\min}^{\text{КТР1}} = 73,7$  дня. Минимум показателя в случае использования КТР2 находится в точке  $Y_{1\min}^{\text{КТР2}} = 65,8$  дня ( $X_1 = 10$  т.;  $X_2 = 15$  чел.).

По результатам анализа [рис. 4.3](#) можно заключить, что характер изменения показателя  $Y_2$  «полные затраты на реализацию проекта с начислениями» незначительно варьируется в зависимости от типа КТР колонн. При обоих типах точка максимума показателя находится в координатах ( $X_1 = 1$  т.;  $X_2 = 5$  чел.) ( $Y_{2\max}^{\text{КТР1}} = 97\,635,84$  тыс. руб.;  $Y_{2\max}^{\text{КТР2}} = 96\,567,73$  тыс. руб.). Совпадают координаты точек минимума ( $X_1 = 10$  т.;  $X_2 = 15$  чел.):  $Y_{2\min}^{\text{КТР1}} = 92\,874,09$  тыс. руб.;  $Y_{2\min}^{\text{КТР2}} = 90\,581,02$  тыс. руб. Имеет место разница значений показателя в различных факторных подпространствах (при КТР1 и КТР2).

4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ



Конструктивно-технологическое решение №1 (KTR1)



Конструктивно-технологическое решение №2 (KTR2)

Рис. 4.3 Закономерности изменения показателя «полные затраты на реализацию проекта с начислениями» при использовании разных вариантов конструктивно-технологического решения колонн временных конструкций

Она обусловлена как снижением прямых затрат, так и уменьшением условно-постоянных расходов в целом по проекту в случае применения КТР2. В целом использование КТР2 позволяет сэкономить от 1,1 до 2,3 млн. рублей при различных сочетаниях остальных факторов.

Проанализируем [рисунок 4.4](#). На нём показаны изменения показателя «интенсивность финансирования проекта» при различных типах КТР металлоконструкций. Характер изменения показателя незначительно отличается в различных факторных подпространствах.

Координаты точек минимума и максимума показателя совпадают при КТР1 и КТР2. Так,  $Y_{3\max}^{\text{КТР1}} = 16\,187,58$  тыс. руб./мес. ( $X_1 = 10$  т.;  $X_2 = 15$  чел.);  $Y_{3\min}^{\text{КТР1}} = 7\,201,17$  тыс. руб./мес. ( $X_1 = 1$  т.;  $X_2 = 5$  чел.);  $Y_{3\max}^{\text{КТР2}} = 16\,547,66$  тыс. руб./мес. ( $X_1 = 10$  т.;  $X_2 = 15$  чел.);  $Y_{3\min}^{\text{КТР2}} = 7\,958,53$  тыс. руб./мес. ( $X_1 = 1$  т.;  $X_2 = 5$  чел.).

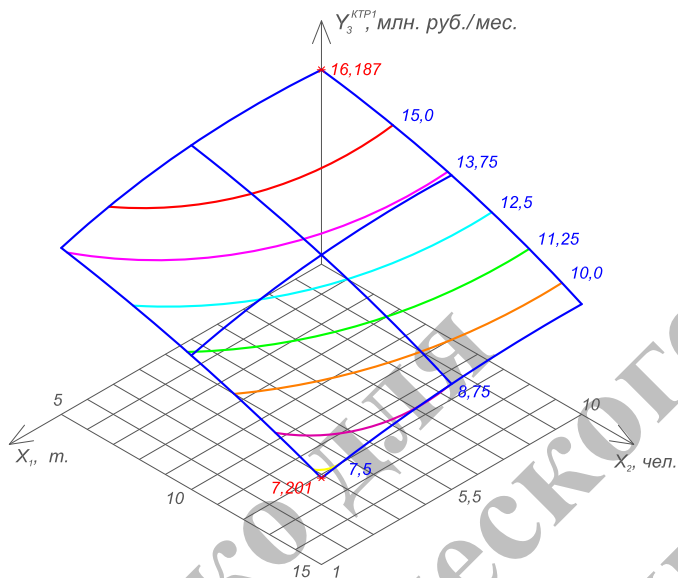
На [рисунке 4.5](#) показаны диаграммы ранжирования степеней влияния факторов  $X_1$  и  $X_2$  на исследуемые показатели. Диаграммы построены для различных факторных подпространств (КТР1 и КТР2). Отметим, что для показателей «длительность монтажа временных несущих конструкций» ( $Y_1$ ) и «интенсивность финансирования проекта» ( $Y_3$ ) степень влияния факторов  $X_1$  и  $X_2$  незначительно изменяется при смене варианта КТР. Для показателя «полные затраты на реализацию проекта с начислениями» ( $Y_2$ ) степени влияния факторов отличаются: при КТР1 большим влиянием обладает фактор  $X_2$ , при КТР2 –  $X_1$ .

[Рисунки 4.6-4.8](#) позволяют сравнить характер изменения показателей в зависимости от уровня фактора  $X_1$  (степень укрупнения монтируемых элементов колонн). При этом фактор  $X_2$  (количество рабочих, занятых на монтаже металлоконструкций) зафиксирован на одном из трёх уровней: -1, 0, +1 (5, 10 и 15 рабочих соответственно).

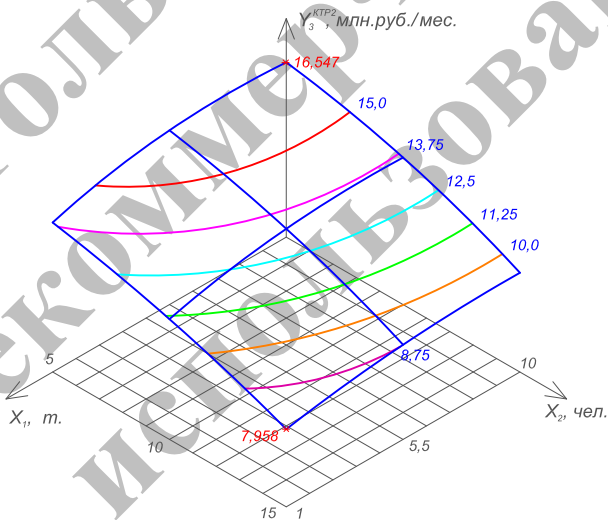
На представленных рисунках графики изменения показателей при различных вариантах конструктивно-технологического решения совмещены в рамках одной диаграммы.



4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ



Конструктивно-технологическое решение №1 (КТР1)



Конструктивно-технологическое решение №2 (КТР2)

Рис. 4.4 Закономерности изменения показателя «интенсивность финансирования проекта» при использовании разных вариантов конструктивно-технологического решения колонн временных конструкций

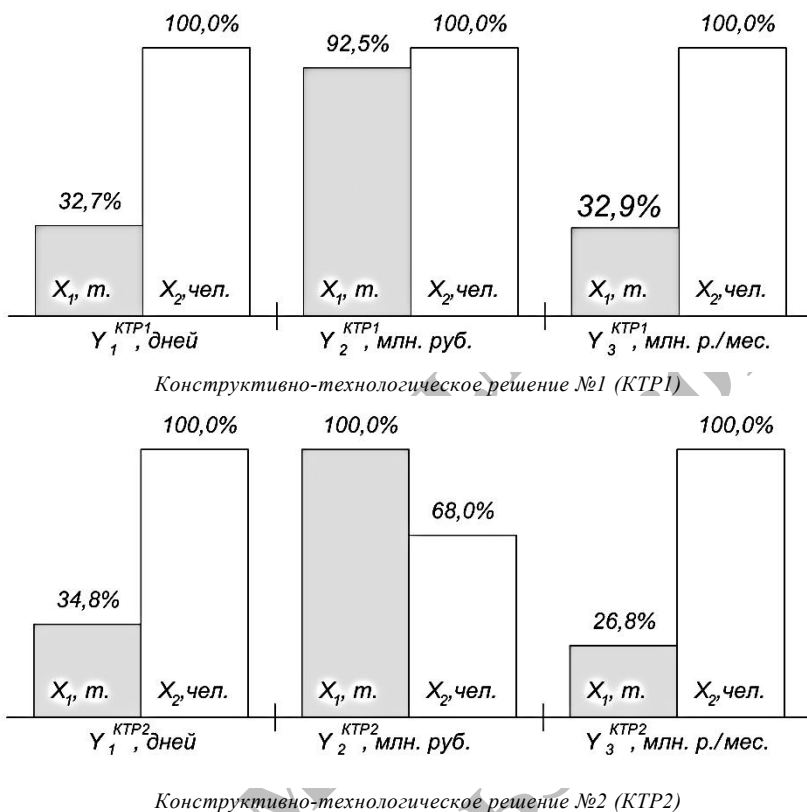
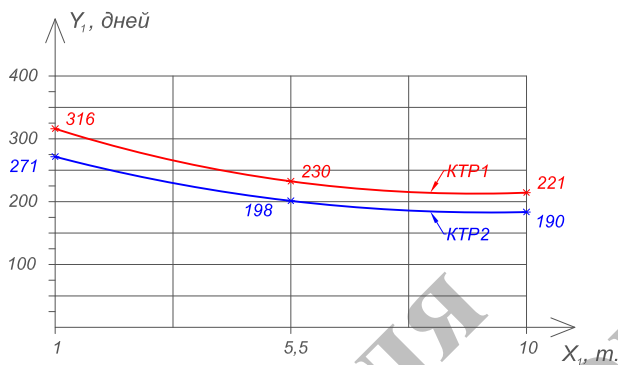


Рис. 4.5 Ранжирование степеней влияния факторов  $X_1$  и  $X_2$  на исследуемые показатели при использовании разных вариантов КТР колонн временных конструкций

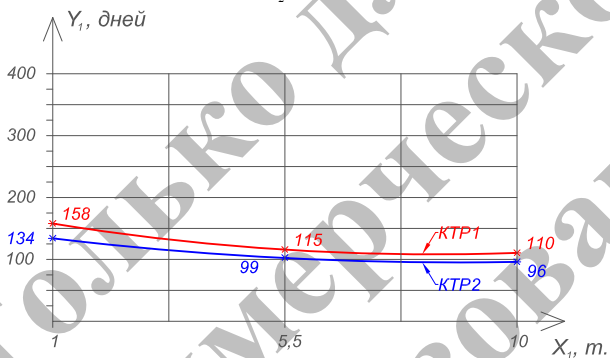
При анализе [рис. 4.6](#) видно, что характер изменения показателя  $Y_1$  (длительность монтажа временных несущих конструкций) под влиянием фактора  $X_1$  отличается. Он зависит от уровня фактора  $X_2$ . Разница между экстремальными значениями функции отклика при  $X_2 = 5$  чел. составляет: 95,1 дня для KTR1; 81,6 дня для KTR2.

При  $X_2 = -1$  данная разница составляет 31,7 и 23,9 дня соответственно. Фактор  $X_1$  влияет на показатель менее значительно, чем фактор  $X_2$ , и способен изменить его в 1,36-1,43 раза (для различных факторных подпространств).

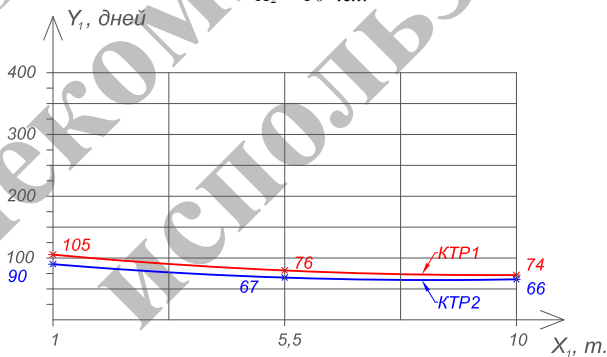
4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ



$X_2 = 5$  чел.



$X_2 = 10$  чел.



$X_2 = 15$  чел.

Рис. 4.6 Длительность монтажа временных несущих конструкций ( $Y_1$ ) при изменении фактора  $X_1$  и фиксации  $X_2$  на уровнях 5, 10, 15 чел. для различных вариантов конструктивно-технологических решений временных конструкций

Проанализируем [рисунок 4.7](#). Изменение показателя  $Y_2$  (полные затраты на реализацию проекта с начислениями) в зависимости от уровня фактора  $X_1$  составляет 2255,9-3971,9 тыс. руб., что соответствует 2,4-4,3% от величины полных затрат. Такое небольшое изменение показателя (в относительных величинах) очевидно связано с небольшой долей условно-постоянных расходов в составе общих затрат на проект противоаварийных мероприятий.

Рассмотрим [рисунок 4.8](#). Отметим, что характер изменения показателя  $Y_3$  (интенсивность финансирования проекта) слабо варьируется при смене конструктивно-технологического решения металлоконструкций колонн.

Характер изменения показателя под влиянием фактора  $X_1$  неизменен во всех областях факторного пространства. В целом влияние фактора  $X_1$  на показатель невелико и изменение отклика равно 16-27% при различных уровнях фактора  $X_2$ .

[Рисунки 4.9-4.11](#) позволяют сравнить характер изменения показателей в зависимости от уровня фактора  $X_2$  (количество рабочих, занятых на монтаже металлоконструкций). При этом уровень фактора  $X_1$  (степень укрупнения монтируемых элементов колонн) зафиксирован на одном из трёх уровней: -1, 0, +1 (1, 5,5 и 10 т. соответственно).

На представленных рисунках графики изменения показателей при различных КТР совмещены в рамках одной диаграммы.

Рассмотрим [рисунок 4.9](#). На нём показано изменение показателя «длительность монтажа временных несущих конструкций» в различных факторных подпространствах (при разных КТР). Отметим, что характер изменения показателя под влиянием фактора  $X_2$  зависит от уровня фактора  $X_1$ . Так, разница между минимальным и максимальным значением показателя в зоне  $X_1 = 1$  т. составляет 210,6 дня для КТР1 и 181,5 дня для КТР2. В то же время в зоне  $X_1 = 10$  т. эта разница составляет 147,3 дня и 123,8 дня соответственно.

В целом, влияние фактора  $X_2$  на показатель существенно и изменение его уровня способно изменить значения отклика в 2,88-3,02 раза для разных факторных подпространств.

4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

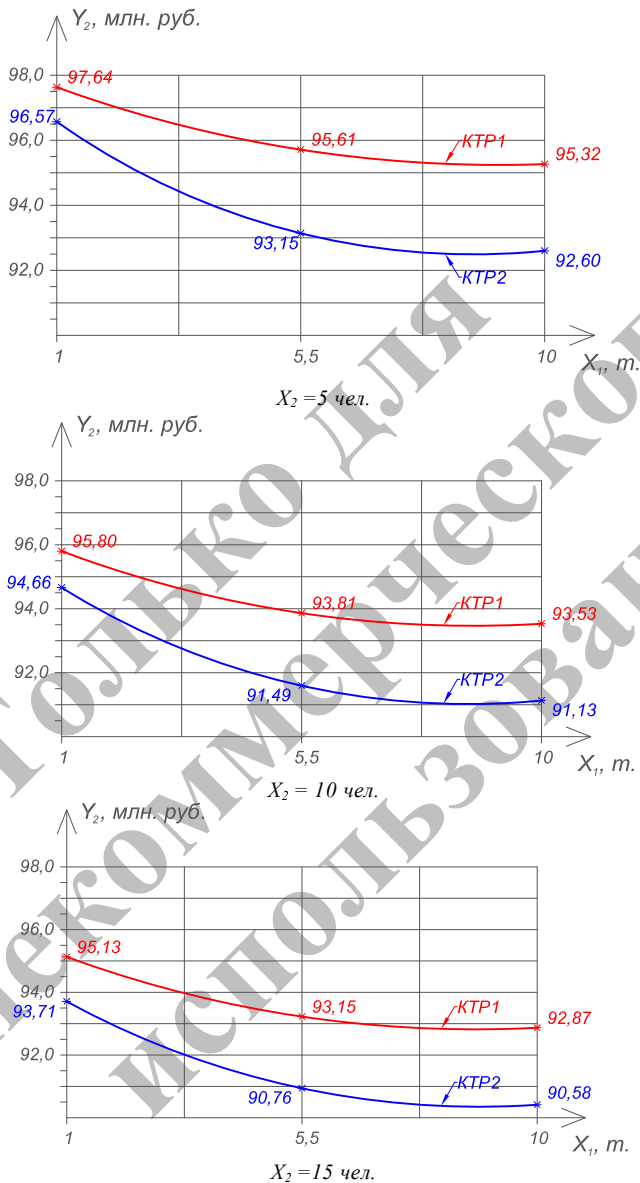


Рис. 4.7 Полные затраты на реализацию проекта с начислениями ( $Y_2$ ) при изменении фактора  $X_1$  и фиксации  $X_2$  на уровнях 5, 10, 15 чел. для различных вариантов конструктивно-технологических решений временных конструкций

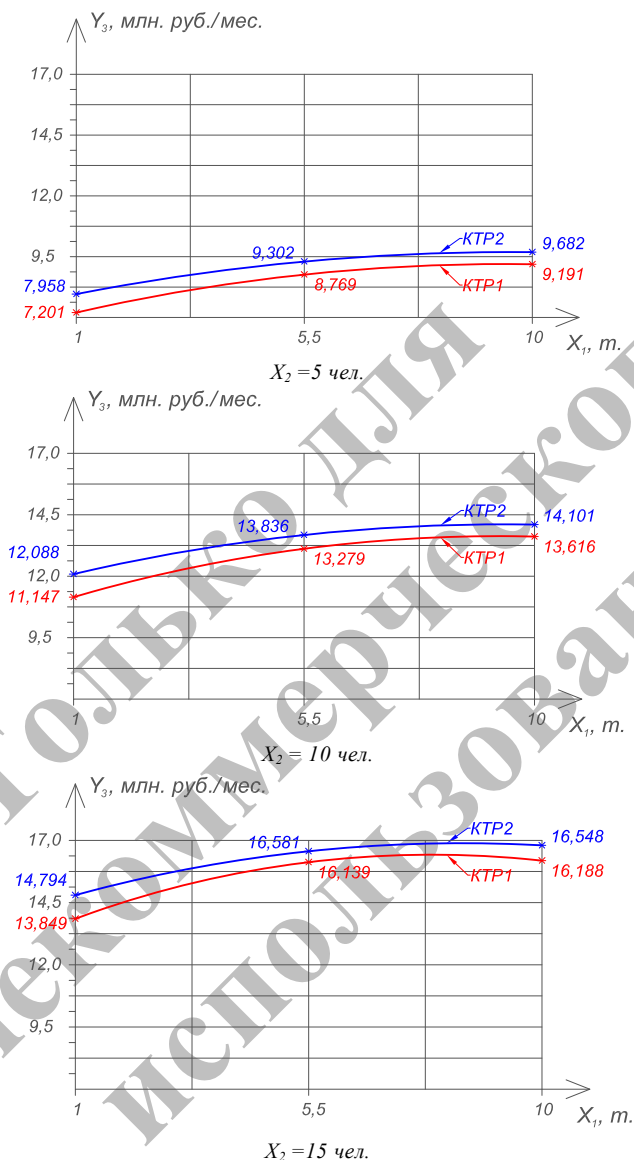
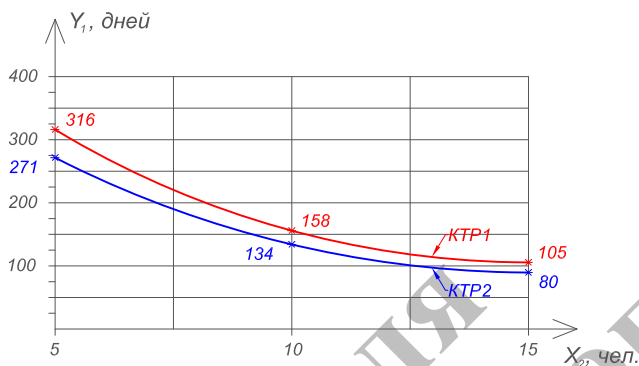
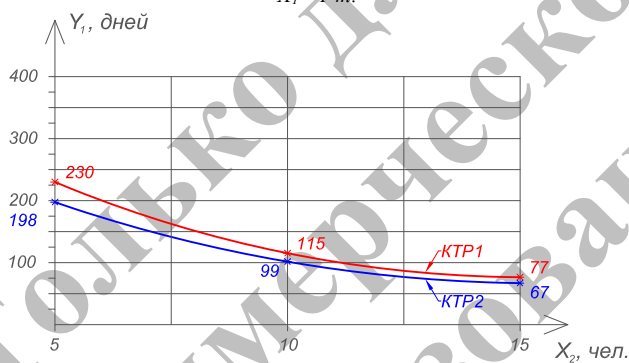


Рис. 4.8 Интенсивность финансирования проекта ( $Y_3$ ) при изменении фактора  $X_1$  и фиксации  $X_2$  на уровнях 5, 10, 15 чел. для различных вариантов конструктивно-технологических решений временных конструкций

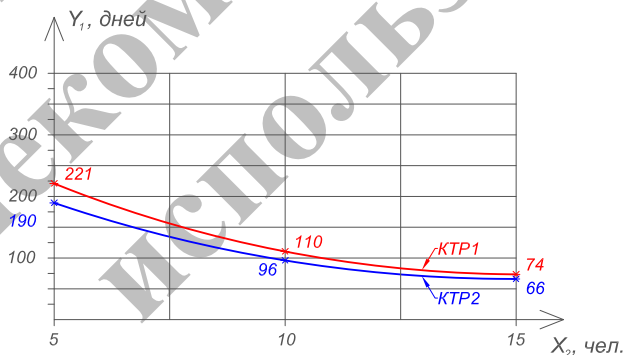
4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ



$X_1 = 1 \text{ m}$ .



$X_1 = 5,5 \text{ m}$ .



$X_1 = 10 \text{ m}$ .

Рис. 4.9 Длительность монтажа временных несущих конструкций ( $Y_1$ ) при изменении фактора  $X_2$  и фиксации  $X_1$  на уровнях 1, 5,5, 10 м. для различных вариантов конструктивно-технологических решений временных конструкций

При анализе [рис. 4.10](#) видно, что увеличение уровня  $X_2$  незначительно снижает величину отклика – на 2% – как при использовании КТР1, так и КТР2. По сравнению с влиянием фактора  $X_1$  это изменение меньше на 1-2%, следовательно, можно утверждать, что фактор  $X_1$  имеет несколько большее влияние на показатель, чем фактор  $X_2$ . Характер изменения показателя практически одинаков при любых значениях  $X_1$ .

Анализ [рисунка 4.11](#) показывает, что величина показателя  $Y_3$  незначительно отличается для вариантов строительства, обозначенных как конструктивно-технологическое решение колонн временных конструкций №1 и №2.

Также несущественно различается характер влияния  $X_2$  на показатель в зависимости от уровня  $X_1$ . Изменение показателя в зависимости от уровня  $X_1$  составляет 1,7-1,92 раза для различных факторных подпространств.

#### **4.6 Оптимизация противоаварийных мероприятиях при ограничении конструктивно-технологических решений**

При решении оптимизационных задач часто возникает необходимость введения различных ограничений. Это необходимо, чтобы определить, каким образом внешние условия влияют на реализацию проекта реконструкции. Моделирование таких ограничений в рамках настоящей методики проходит двумя путями: по возможным уровням факторов или по допустимым значениям показателей. И в первом, и во втором случае можно построить диаграммы с совмещением нескольких показателей в рамках одного факторного пространства. Анализ заключается в поиске взаимосвязи между ограничениями по уровням факторов и допустимыми при установленных ограничениях значениями показателей и наоборот.

*Предположим, что по результатам технического обследования состояния Шуховской башни возникла ситуация, при которой приложение нагрузок к аварийной конструкции будет существенно ограниченным. Решим задачу поиска минимально возможного значения показателя «длительность монтажа временных несущих конструкций» при максимально допустимой дополнительной нагрузке, равной 9 т., без учёта веса полиспастов обслуживания и грузозахватных приспособлений.*



4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

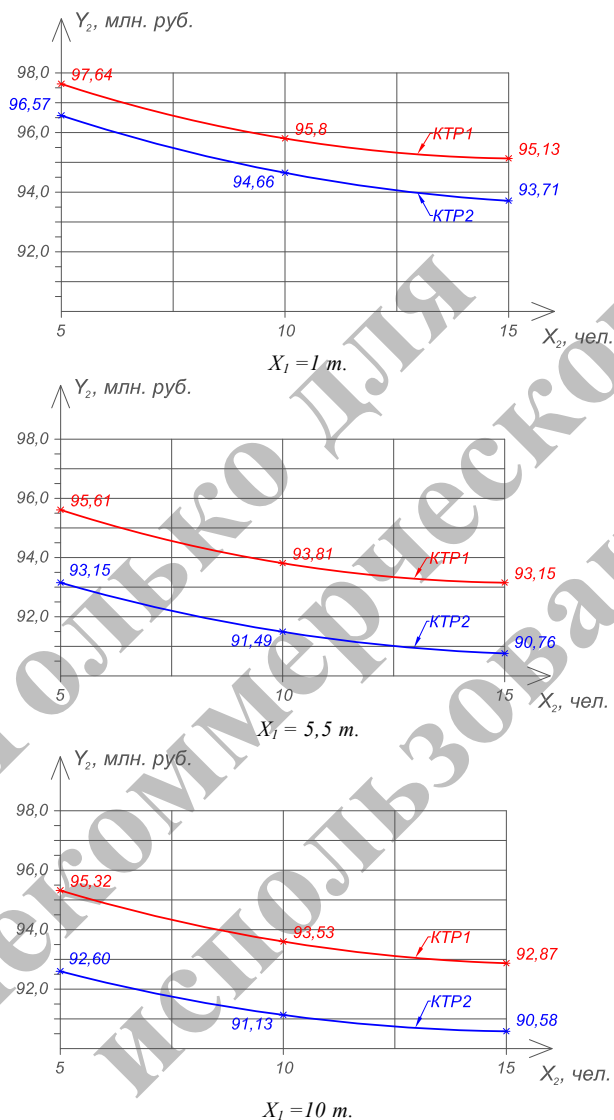


Рис. 4.10 Полные затраты на реализацию проекта с начислениями ( $Y_2$ ) при изменении фактора  $X_2$  и фиксации  $X_1$  на уровнях 1, 5,5, 10 т. для различных вариантов конструктивно-технологических решений временных конструкций

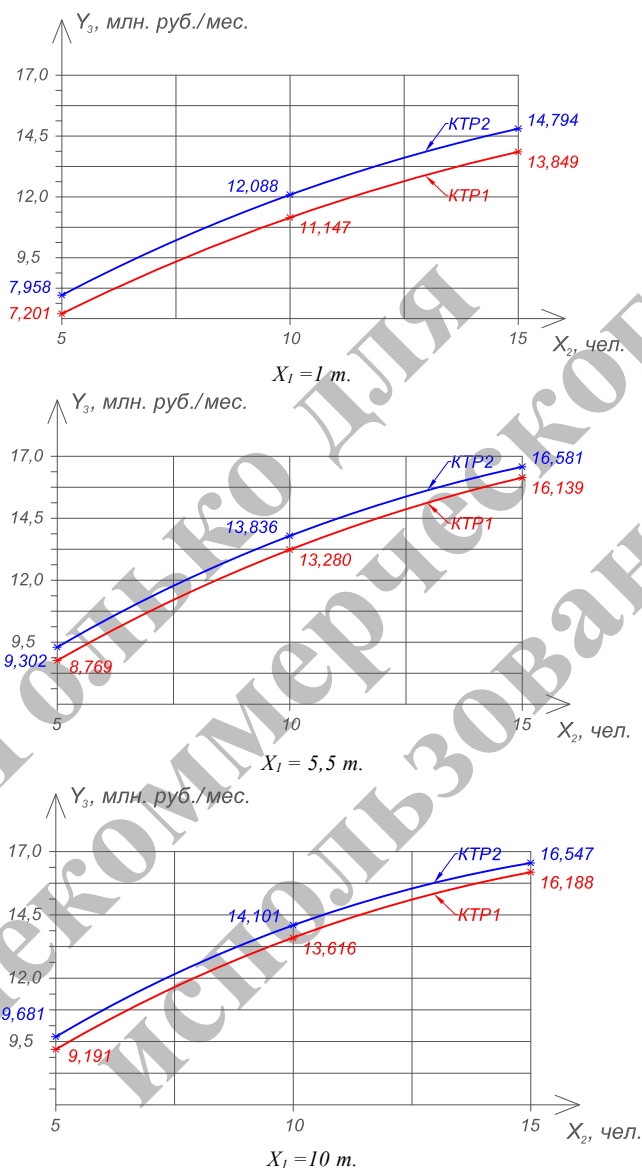


Рис. 4.11 Интенсивность финансирования проекта ( $Y_3$ ) при изменении фактора  $X_2$  и фиксации  $X_1$  на уровнях 1, 5,5, 10 м. для различных вариантов конструктивно-технологических решений временных конструкций

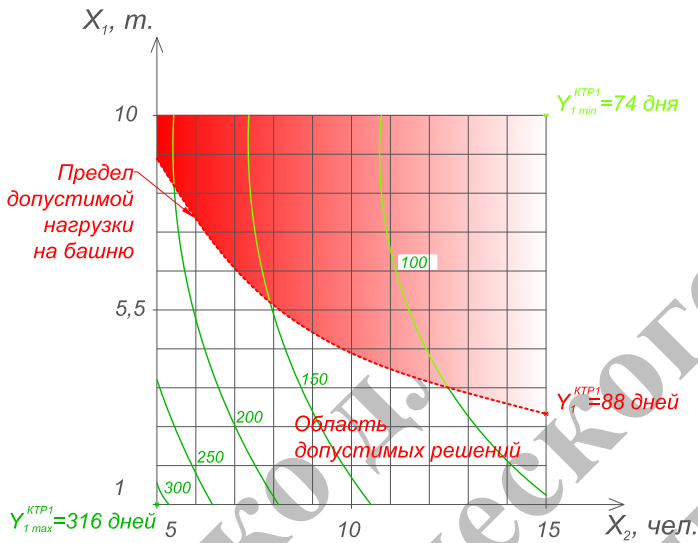
Данная задача может быть решена графическим способом. Рассмотрим [рис. 4.12](#). Область допустимых значений на данном рисунке ограничена пунктирной кривой. Любая точка данной кривой имеет значение дополнительной нагрузки на башню им. Шухова, равной 9 т., при различных сочетаниях уровней факторов  $X_1$  и  $X_2$ . Для обоих вариантов КТР наименьшее значение показателя находится в точке ( $X_1 = 3$  т.;  $X_2 = 15$  чел.):  $Y_{1\text{ орг.}}^{\text{КТР1}} = 88$  дн.;  $Y_{1\text{ орг.}}^{\text{КТР2}} = 76$  дн. При адаптации данного решения к технологическим реалиям это равно использованию трёх полиспастов, каждый из которых обслуживается одним звеном рабочих, при нагрузке на каждый полиспаст не более 3 т.

*Задача поиска минимального значения показателя «интенсивность финансирования проекта» при ограничении по уровню двух факторов решается следующим образом. Введём ограничения: количество рабочих, занятых на монтаже, не может превышать 10; максимальный вес укрупнённого элемента ограничен значением в 7 т. ( $X_1 \leq +0,4$ ;  $X_2 \leq 0$ ). При этом допустимые значения показателя «полные затраты на реализацию проекта с начислениями» не должны превышать значения 95 млн. руб.*

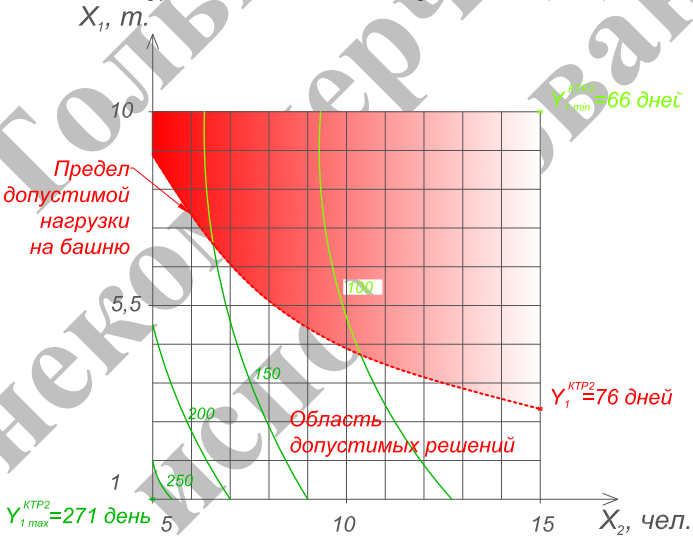
Для решения подобной задачи следует использовать совмещённые диаграммы. Совмещёнными называются такие диаграммы, на которых показаны изолинии двух или более показателей. Кроме того, в рассматриваемой задаче совмещённая диаграмма должна быть ограничена по уровню двух факторов. Требуемая диаграмма показана на [рис. 4.13](#).

При анализе рисунка видно, что для варианта монтажа при использовании КТР1 точка оптимума равна  $Y_{3\text{ орг.}}^{\text{КТР1}} = 10$  тыс. руб./мес. ( $X_1 = 7,3$  т.;  $X_2 = 6$  чел.); для варианта монтажа при использовании КТР2 –  $Y_{3\text{ орг.}}^{\text{КТР2}} = 10$  тыс. руб./мес. ( $X_1 = 1,5$  т.;  $X_2 = 7$  чел.).

При переводе значений уровней факторов из нормализованных в натурные не всегда возможен равнозначный пересчёт. Например, на [рис. 4.13](#) уровень фактора  $X_2$  в точке оптимума близок к значению -0,47, что соответствует 7,3 рабочего. Однако, при оперировании величинами трудоёмкости и связанных с ними назначениями рабочих можно округлить значение уровня фактора до 7 человек. Для того, чтобы не допустить подобных казусов, следует внимательно относиться к переводу уровней факторов из нормализованных в натурные и обратно.



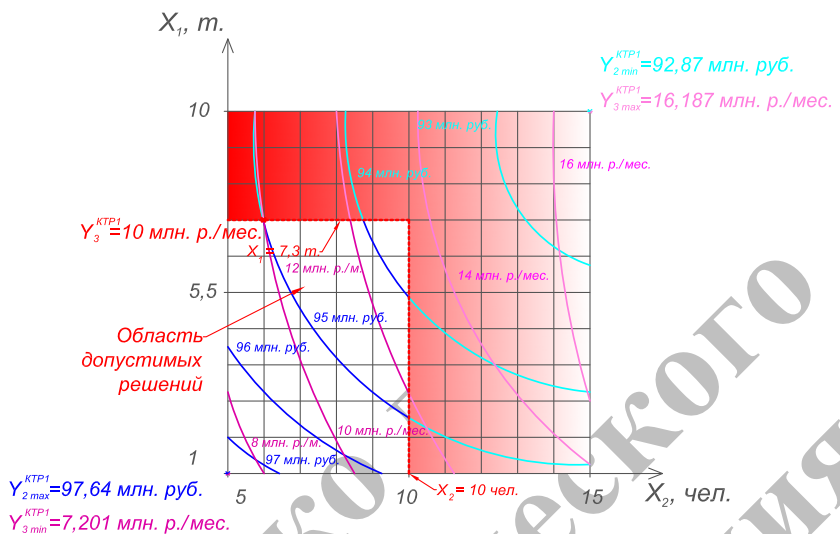
Конструктивно-технологическое решение №1 (КТР1)



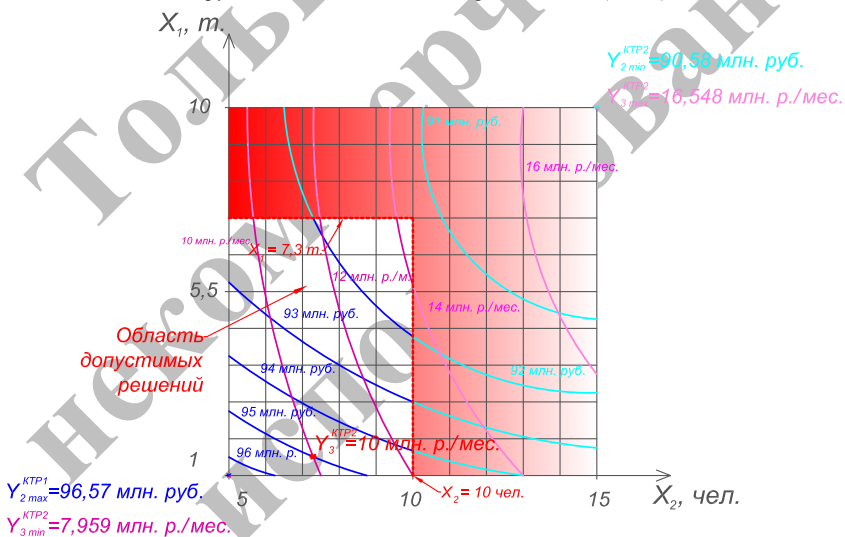
Конструктивно-технологическое решение №2 (КТР2)

Рис. 4.12 Закономерности изменения показателя «длительность монтажа временных несущих конструкций» при ограничении по допустимой нагрузке 14 т.

4. ОПТИМИЗАЦИЯ КОНСТРУКТИВНО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ ПРОТИВОАВАРИЙНЫХ МЕРОПРИЯТИЙ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ



Конструктивно-технологическое решение №1 (KTR1)



Конструктивно-технологическое решение №2 (KTR2)

Рис. 4.13 Совмещённая диаграмма изменения показателя «интенсивность финансирования проекта» и «полные затраты на реализацию проекта с начислениями» при ограничениях ( $X_1 \leq 7,3$  м.;  $X_2 \leq 10$  чел.)

Рассмотрим задачу поиска минимально возможного значения показателя «длительность монтажа временных несущих конструкций» при следующих ограничениях:

- Ограничение по показателю «интенсивность финансирования проекта» –  $Y_{\text{зогр}} \leq 10$  млн. руб./мес.
- Ограничение по уровню фактора «степень укрупнения монтируемых элементов колонн» равно 5,5 т. –  $X_1 = 0$ .

Указанные ограничения и исследуемый показатель приведены на [рис. 4.14](#). На данном рисунке пунктирными линиями обозначены ограничение по значению показателя, а также уровень фактора  $X_2$ , при котором достигается минимальное значение длительности монтажа М/К. При КТР1 оно равно 182 дня. Для устройства временных металлоконструкций в такие сроки потребуются привлечение не более, чем 1 звена в составе 6 человек. При КТР2 минимальный срок несколько ниже – 175 дней. При этом также требуется привлечение 6 человек.

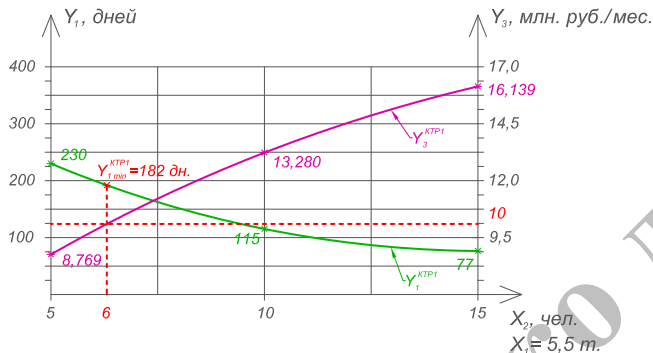
Предположим, что в ходе реализации проекта противоаварийных мероприятий сложилась ситуация со следующими условиями:

- Интенсивность финансирования ограничена на уровне  $Y_{\text{зогр}} \leq 13,5$  млн. руб./мес.
- На объекте не может находиться более 10 монтажников металлоконструкций ( $X_2 = 10$  чел.).

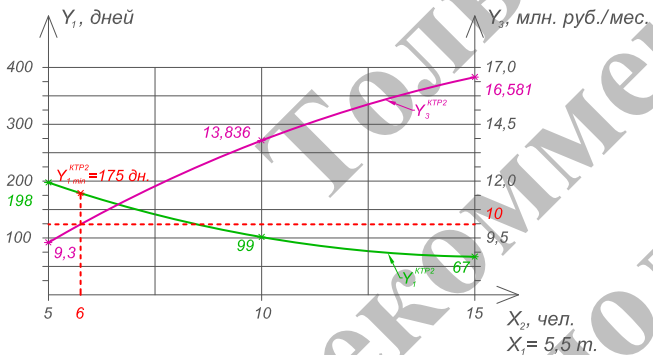
Такая ситуация смоделирована с помощью совмещённой диаграммы на [рис. 4.15](#).

Минимальные значения показателя «полные затраты на реализацию проекта с начислениями» равны:

- При КТР1 93,53 млн. руб. – при максимально возможной степени укрупнения  $X_1 = 8$  т.
- При КТР2 91,89 млн. руб. – при  $X_1 = 4, 6$  т.

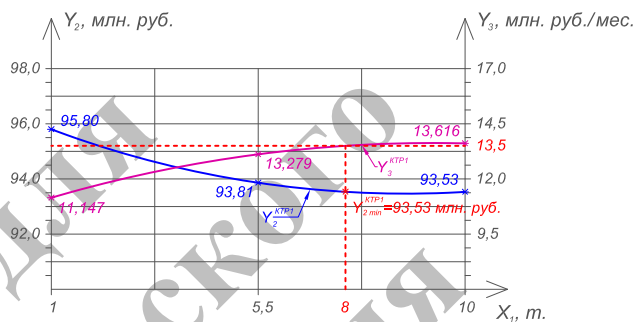


Конструктивно-технологическое решение №1 (KTP1)

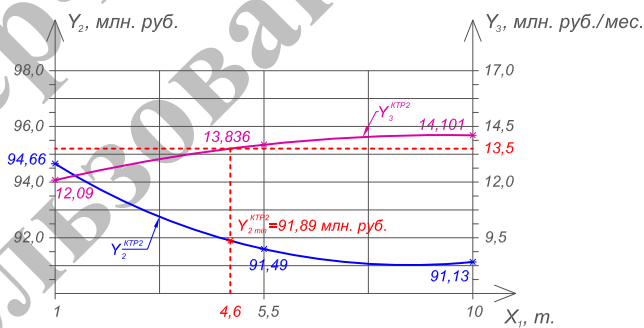


Конструктивно-технологическое решение №2 (KTP2)

Рис. 4.14 Совмещённая диаграмма изменения показателей «длительность монтажа временных несущих конструкций» и «интенсивность финансирования проекта» при ограничениях ( $Y_3 \leq 10$  млн. руб./мес.;  $X_1 = 5,5$  т.)



Конструктивно-технологическое решение №1 (KTP1)



Конструктивно-технологическое решение №2 (KTP2)

Рис. 4.15 Совмещённая диаграмма изменения показателей «интенсивность финансирования проекта» и «полные затраты на реализацию проекта с начислениями» при ограничениях ( $Y_3 \leq 14$  млн. руб./мес.;  $X_2 = 10$  чел.)

Содержание

#### Выводы по разделу 4

1. В настоящем разделе решена задача оптимизации конструктивно-технологических решений противоаварийных мероприятий на примере радиобашни им. Шухова по критериям длительности монтажа временных несущих конструкций, полных затрат на реализацию проекта с начислениями и интенсивности финансирования проекта путем планирования численного эксперимента и экспериментально-статистического моделирования производственных процессов с использованием современных программных продуктов.
2. Анализ результатов технического обследования определил необходимость проведения противоаварийных мероприятий и восстановительных работ, а анализ проекта позволил выявить возможные организационные варианты и конструктивно-технологические решения реконструкции.
3. Использованный полнофакторный план эксперимента позволяет получить адекватные результаты и сравнить два варианта конструктивно-технологических решений противоаварийных мероприятий при изменении уровней технологического (степень укрупнения монтируемых элементов колонн) и организационного (количество рабочих, занятых на монтаже металлоконструкций) факторов.
4. Моделирование противоаварийных мероприятий показало широкие пределы изменений исследуемых показателей:
  - Длительность монтажа временных несущих конструкций – от 316 до 73 дней (в 4,33 раза) при варианте «КТР1»; от 269 до 63 (в 4,27 раза) при варианте «КТР2».
  - Полные затраты на реализацию проекта с начислениями – от 98 474,21 до 92 906,9 тыс. руб. (на 6%) при варианте «КТР1»; от 96 673 до 90 539,65 (на 6,77%) при варианте «КТР2».
  - Интенсивность финансирования проекта – от 7 160,38 до 16 285,84 тыс. руб./мес. (в 2,27 раза) при варианте «КТР1»; от 7 903,72 до 16 642,98 тыс. руб./мес. (в 2,1 раза) при варианте «КТР2».
5. Анализ степени влияния факторов на показатели выявил следующие величины их ранжирования:



- На длительность монтажа временных несущих конструкций – количество рабочих, занятых на монтаже металлоконструкций ( $X_2$ ) 100% при варианте «КТР1», 100% при варианте «КТР2»; степень укрупнения монтируемых элементов колонн ( $X_1$ ) 32,7% при КТР1, 34,8% при варианте «КТР2».
  - На полные затраты на реализацию проекта с начислениями –  $X_1$  92,5% при варианте «КТР1», 100% при варианте «КТР2»;  $X_2$  100% при варианте «КТР1», 68% при варианте «КТР2».
  - На интенсивность финансирования проекта –  $X_2$  100% при варианте «КТР1», 100% при варианте «КТР2»;  $X_1$  32,9% при варианте «КТР1», 26,8% при варианте «КТР2».
- б. Представленные примеры показали возможность определения оптимальных вариантов противоаварийных мероприятий с заданными ограничениями организационно-технологического и финансового характера, а именно:
- При ограничении допустимого веса на конструкции башни, равном 9 т., наименьшее значение «длительность монтажа временных несущих конструкций» находится в точке ( $X_1 = 3$  т.;  $X_2 = 15$  чел.):  $Y_{1\text{огр.}}^{\text{КТР1}} = 88$  дн.;  $Y_{1\text{огр.}}^{\text{КТР2}} = 76$  дн.
  - При ограничении по количеству рабочих не более 10 чел., максимальном весе элемента не более 7 т., «полных затратах на реализацию проекта с начислениями» не более 95 млн. руб., значение интенсивности финансирования равно:  $Y_{3\text{огр.}}^{\text{КТР1}} = 10$  тыс. руб./мес. ( $X_1 = 7,3$  т.;  $X_2 = 6$  чел.);  $Y_{3\text{огр.}}^{\text{КТР2}} = 10$  тыс. руб./мес. ( $X_1 = 1,5$  т.;  $X_2 = 7$  чел.).
  - Минимально возможное значение показателя «длительность монтажа временных несущих конструкций» при ограничениях по «интенсивности финансирования»  $Y_{3\text{огр.}} \leq 10$  млн. руб./мес., весе элементов, равном 5,5 т. ( $X_1 = 0$ ), составляет:  $Y_{1\text{огр.}}^{\text{КТР1}} = 182$  дн.;  $Y_{1\text{огр.}}^{\text{КТР2}} = 175$  дн. (при этом  $X_2 = 6$  чел.).
  - Минимально возможное значение «полных затрат на реализацию проекта с начислениями» при ограничениях по «интенсивности финансирования»  $Y_{3\text{огр.}} \leq 13,5$  млн. руб./мес., количеству рабочих, равном 10 чел. ( $X_2 = +1$ ), составляет:  $Y_{2\text{огр.}}^{\text{КТР1}} = 93,53$  млн. руб. ( $X_1 = 8$  т.);  $Y_{2\text{огр.}}^{\text{КТР2}} = 91,89$  млн. руб. ( $X_1 = 4,6$  т.).

## **5. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МЕТАЛЛИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ВЫСОТНОГО ИНЖЕНЕРНОГО СООРУЖЕНИЯ**

В Украине имеется большое количество высотных инженерных сооружений, состоящих из металлических конструкций. Они эксплуатируются в агрессивных погодных условиях и подвержены коррозии. Замена элементов конструкции может быть проблематична из-за большой высоты производства работ. В этой связи может потребоваться выбор технологии неразрушающего восстановления металлоконструкций, пример которого показан в настоящем разделе.

### **5.1 Сравнение возможных методов восстановления основных конструктивных элементов высотного инженерного сооружения**

В ходе эксплуатации радиобашня им. Шухова подвергалась разрушающим погодным воздействиям, вследствие которых металлоконструкции башни требуют значительного восстановления и замены. Замена металлоконструкций, которые воспринимают значительные нагрузки, возможна при использовании одной из технологий «вывешивания» башни. Такая технология позволит последовательно выводить элементы несущего каркаса из напряжённого состояния. Это даст возможность демонтировать элементы для их замены. Однако, согласно федеральному закону РФ «Об объектах культурного наследия (памятниках истории и культуры) народов Российской Федерации», замена конструктивных элементов таких памятников, одним из которых является радиобашня им. Шухова, запрещена. Требуется использование специальных методов, большинство из которых имеют общее название – металлизация. Суть данных методов заключается в создании специального физико-химического состояния поверхности обрабатываемого металла, подаче восстанавливающего вещества в образовавшуюся «ванну» с последующим твердением. Анализ известных способов восстановления металлоконструкций показал, что для Шуховской радиобашни возможно использование следующих методов:

- Электродуговая металлизация – это нагрев (до плавления) электрической дугой в распылителе сходящихся проволок. Затем капли расплав-

ленного металла сдуваются газовым потоком в направлении подложки, где и создается металлопокрытие.

- Газопламенное напыление предполагает формирование капель малого размера (частиц) расплавленного металла и перенос их на обрабатываемую поверхность, где они удерживаются, формируя тем самым непрерывное покрытие.
- Высокоскоростное газопламенное напыление – один из методов газотермического напыления защитных покрытий, при котором порошок материал наносится на подложку на высокой (обычно более 5 скоростей звука) скорости.
- Детонационное напыление – одна из разновидностей газотермического напыления промышленных покрытий, в основе которого лежит принцип нагрева напыляемого материала (обычно порошка) с последующим его ускорением и переносом на напыляемую деталь с помощью продуктов детонации.
- Плазменное напыление – процесс нанесения покрытия на поверхность изделия с помощью плазменной (высокотемпературной) струи.
- Лазерное напыление – метод восстановления металлоконструкций при помощи создания на поверхности изделия плакирующего слоя из порошкового материала с проплавлением его посредством лазерного луча.

## 5.2 Методика и результаты многокритериального анализа методов металлизации

Алгоритм методики многокритериального анализа представлен на [рис. 5.1](#). Для предварительного анализа на основании экспертной оценки имеющейся технической информации была составлена таблица сравнения методов металлизации по выбранным критериям ([табл. 5.1](#)). Первый этап анализа – ранжирование по степени значимости методов металлизации на основании сведений, представленных в [таблице 5.1](#). Первому критерию (см. строку 1, [табл. 5.1](#)) отвечают все методы, поэтому в анализе он не используется. Третий критерий (см. строку 3) дублирует критерий 5, поэтому был исключен из рассмотрения. Критерии 5 и 6 (см. строку 5 и 6) не являются значимыми при выборе метода металлизации, поэтому могут не учитываться при построении аналитических диаграмм.

Таблица 5.1.

Сравнение методов восстановления геометрии и прочностных характеристик узловых соединений Шуховской радиобаши.

1	2	3	4	5	6	7	8
№	Наименование технологии металлизации Критерии оценки технологий	Электродуговая металлизация	Газопламенное напыление	Высококремнистое напыление (НВОГ)	Дугонапичное напыление	Плазменное напыление	Лазерное напыление
1	Возможность восстановления утраченной геометрии стыкового соединения	есть	есть	есть	есть	есть	есть
2	Возможность восстановления прочностных характеристик металла	нет	нет	есть	есть	есть	есть
3	Возможность производства работ на высоте	есть	есть	нет	нет	нет	нет
4	Место производства работ по металлизации	Без демонтажа из проектного положения	Без демонтажа из проектного положения	Цех на строительной площадке	Цех вне строительной площадки	Цех вне строительной площадки	Цех вне строительной площадки
5	Требует специальной подготовки поверхности до обработки	да	нет	нет	нет	нет	нет
6	Требует проведения выравнивающей шлифовки	да	да	да	да	да	нет
7	Требует отдельного нанесения антикоррозионного покрытия	нет	нет	нет	да	да	нет
8	Показатель требуемой квалификации персонала (в баллах по возрастанию)	4	3	4	8	9	10

Содержание

5. МНОГОКРИТЕРИАЛЬНЫЙ АНАЛИЗ МЕТОДОВ МЕТАЛЛИЗАЦИИ КОНСТРУКЦИЙ  
ПРИ ВОССТАНОВЛЕНИИ ВЫСОТНОГО ИНЖЕНЕРНОГО СООРУЖЕНИЯ

Продолжение таблицы 5.1

1	2	3	4	5	6	7	8
9	Показатель длительности производства полного комплекса работ (в баллах по возрастанию)	6,4	5	7,1	10	7,1	7,1
10	Показатель щадящего воздействия на металл реставрируемого изделия/конструкции (в баллах по возрастанию)	8	1	5	5	2	10
11	Показатель гарантированной долговечности восстановленной конструкции в местах восстановления (в баллах по возрастанию)	2,5	1,5	2,5	4	4	10
12	Показатель экологичности при использовании технологии (в баллах по возрастанию)	2	1	5	4	3	7
13	Показатель величины капитальных вложений при приобретении установки (в баллах по возрастанию)	0,3	0,2	5,9	2,3	2,9	10
14	Стоимость аренды установки на весь период производства работ, тыс. у. е.	не рационально	не рационально	200	150	75	200
15	Необходимость использования роботизированного комплекса (+75 000 у. е.)	нет	нет	есть	есть	есть	есть

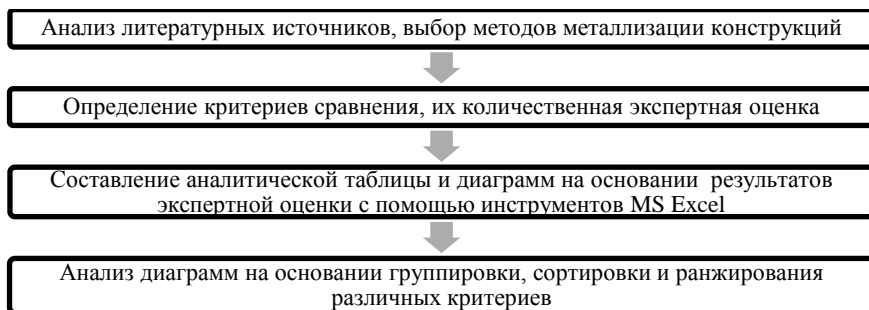


Рис. 5.1 Алгоритм многокритериального анализа методов металлизации

Количественная оценка показателей 8-13 производилась экспертным методом на основании анализа имеющихся технических документов. Стоимость аренды (см. строку 14) либо явно нерациональна, либо сопоставима со стоимостью приобретения установки в большинстве случаев, поэтому достаточно сравнить методы по стоимости приобретения оборудования. Так как критерий 15 (см. строку 15) является значимым только при окончательном выборе метода, он не был использован при общей многокритериальной оценке.

На следующем этапе оставшиеся критерии использованы для последующего анализа методов металлизации, в том числе, их количественной оценки. Для этого они проранжированы по принципу оценки технологических параметров. Так, некоторые из приведённых в [таблице 5.1](#) критериев позволяют отбрасывать те или иные методы, другие – группировать по некоторым признакам, третьи – давать количественную оценку методам металлизации. Для проведения данного ранжирования был использован специальный инструмент MS Excel – «сводные диаграммы».

Глубокое восстановление металлоконструкций предполагает выведение из напряжённо-деформированного состояния отдельных элементов. Данные работы являются достаточно дорогостоящими, что делает критерий местоположения проведения работ по восстановлению М/К одним из наиболее значимых. Сгруппируем методы металлизации по данному критерию и сравним их технологические показатели ([рис. 5.2](#)), оценённые экспертами в баллах.

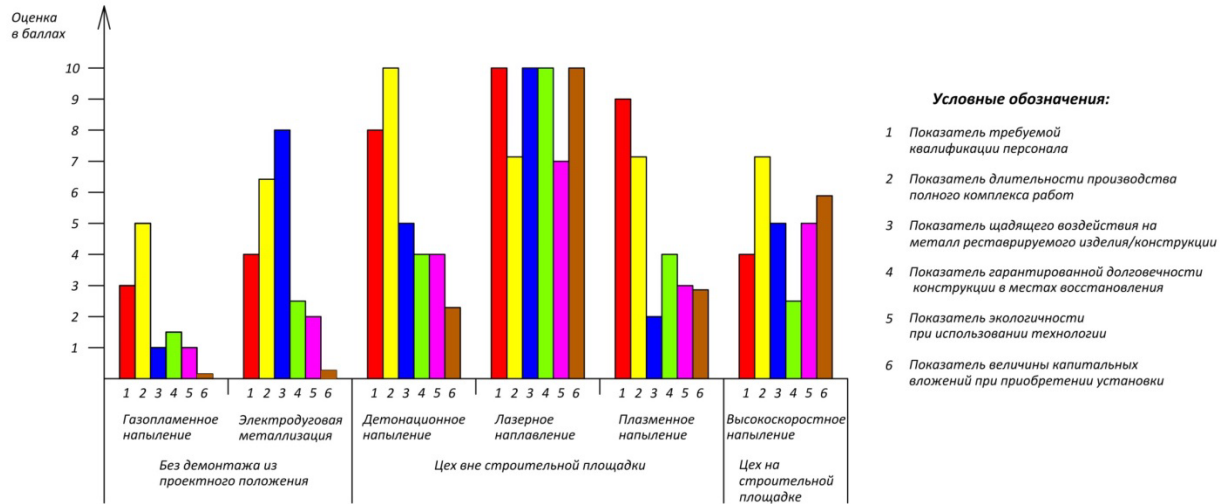


Рис.5.2 Диаграмма сравнения методов металлизации, сгруппированных по критерию места проведения восстанавливающих работ

Рассматривая диаграмму на [рис. 5.2](#), выделим методы детонационного и плазменного напыления. Оба способа предъявляют повышенные требования по квалификации рабочей силы, а, соответственно, и по уровню заработной платы. При этом данные методы не имеют значительного преимущества по рассматриваемым параметрам, как, например, лазерное наплавление.

Среди методов, не требующих вывоза конструкций за пределы строительно-монтажного участка, наибольшей степенью щадящего воздействия на металл изделия обладает электродуговая металлизация, наибольшей степенью экологичности – высокоскоростное напыление. В свою очередь, при использовании метода газопламенного напыления требуется менее квалифицированный персонал, при этом сроки производства работ будут наименьшими. Однако, данный метод позволит нанести наименее долговечное покрытие.

Одними из наиболее значимых критериев при выборе методов металлизации конструкций Шуховской башни являются возможность восстановления прочностных свойств металла и отсутствие необходимости дополнительного нанесения антикоррозионного покрытия при производстве работ. Оценка по данным критериям позволяет выбрать только два метода металлизации ([рис. 5.3](#)).

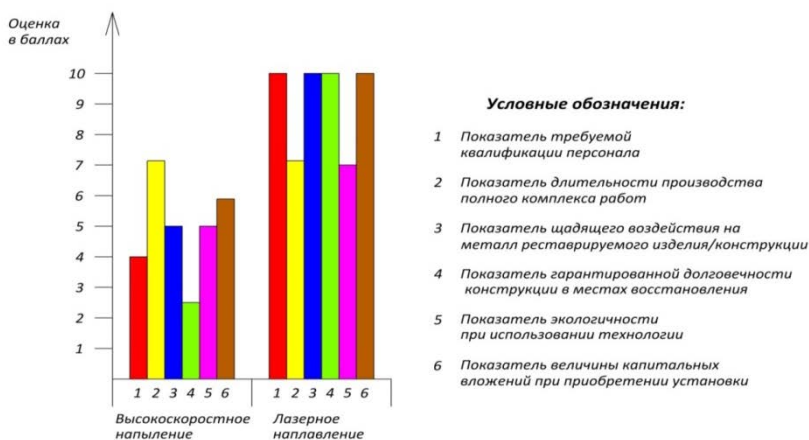
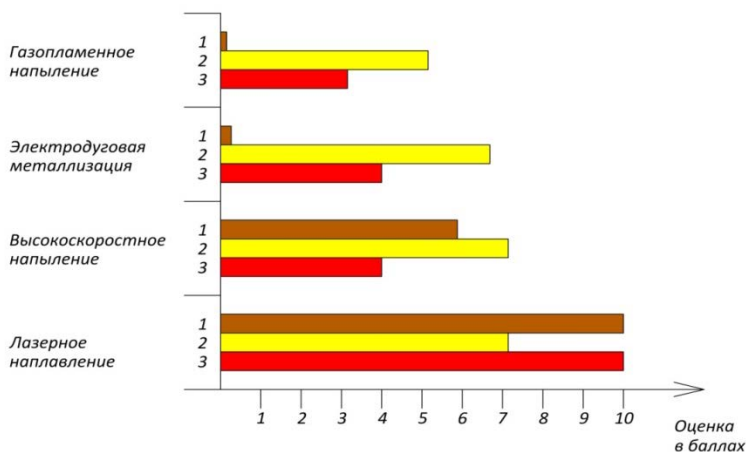


Рис.5.3 Диаграмма сравнения методов металлизации, удовлетворяющих критериям возможности восстановления прочностных свойств металлоконструкций и отсутствию необходимости нанесения антикоррозионного покрытия



Анализируя данную диаграмму, отметим, что метод лазерного наплавления позволяет нанести намного более долговечное покрытие (до 3-х раз), предъявляет более высокие требования к степени квалификации персонала (более чем в 2 раза), а также позволяет сохранить металл восстанавливаемого изделия. Диаграмма показывает, что приобретение установки, позволяющей реализовать данный метод, обойдётся более чем на 40% дороже, чем высокоскоростное напыление. При этом сроки проведения работ при использовании обоих методов будут практически одинаковыми.

Из дальнейшего анализа можно исключить методы детонационного и плазменного напыления, так как они требуют отдельного нанесения антикоррозионного покрытия, а также являются наименее выгодными с точки зрения необходимости привлечения высококвалифицированного персонала. Оставшиеся методы проанализируем по критериям, позволяющим численно отобразить наиболее существенные показатели: сроки и стоимость комплекса работ по восстановлению металлоконструкций Шуховской башни (рис. 5.4).



**Условные обозначения:**

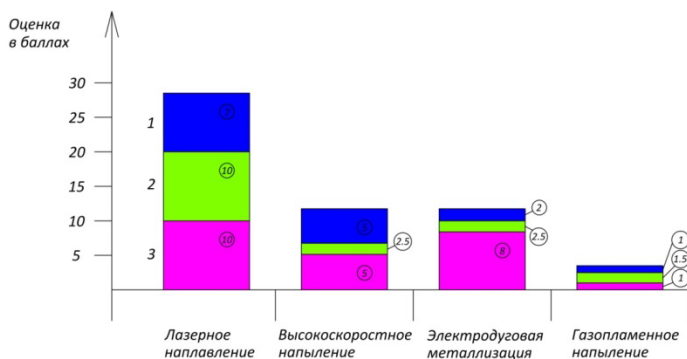
- 1 Показатель величины капитальных вложений при приобретении установки
- 2 Показатель длительности производства полного комплекса работ
- 3 Показатель требуемой квалификации персонала

Рис. 5.4 Сравнение методов, не требующих отдельного нанесения антикоррозионного покрытия, по основным показателям строительного процесса

Отметим, что прогнозируемые сроки производства работ при использовании высокоскоростного и лазерного наплавления будут несколько большими, при этом данные методы являются более дорогостоящими при покупке установки – более чем в 6 и 10 раз соответственно по сравнению с электродуговой металлизацией и газопламенным напылением. Кроме того, требования по уровню квалификации рабочих при работе с установкой лазерного наплавления более чем в два раза выше по сравнению с остальными методами металлизации.

На [рисунке 5.5](#) показаны отобранные методы и количественная оценка по трём критериям качества производства работ.

Отметим, что по данной группе критериев качества лучшие показатели по степени щадящего воздействия на металл и уровню экологичности имеет метод лазерного наплавления. Способ высокоскоростного напыления представляется несколько более предпочтительным, чем газопламенное напыление и электродуговая металлизация по 1 и 3 критерию. Электродуговое нанесение защитного состава имеет высокую оценку по степени щадящего воздействия на металл восстанавливаемого изделия.



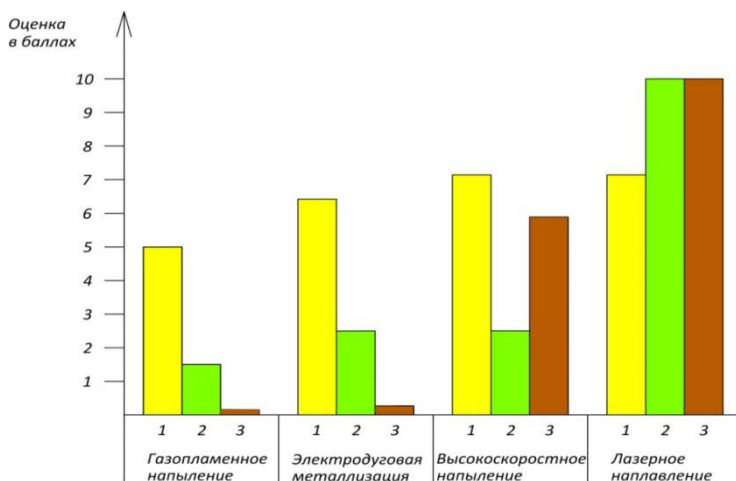
**Условные обозначения:**

- 1 Показатель щадящего воздействия на металл реставрируемого изделия/конструкции
- 2 Показатель гарантированной долговечности конструкции в местах восстановления
- 3 Показатель экологичности при использовании технологии

Рис. 5.5 Сравнение методов, не требующих отдельного нанесения антикоррозионного покрытия, по критериям качества производства работ

Сравним выбранные методы металлизации по критериям сроков работ, долговечности покрытия и стоимости установки ([рис. 5.6](#)).

Диаграмма показывает, что для нанесения более долговечного покрытия требуются более прогрессивные методы металлизации (высокоскоростное напыление и лазерное наплавление), что обуславливает высокие затраты на приобретение установки. При этом, затраты на оборудование, позволяющее производить высокоскоростное напыление защитных составов, не являются обоснованными. Использование такого оборудования лишь незначительно повышает долговечность покрытия, при этом вызывая увеличение сроков производства работ.



**Условные обозначения:**

- 1 Показатель длительности производства полного комплекса работ
- 2 Показатель гарантированной долговечности конструкции в местах восстановления
- 3 Показатель величины капитальных вложений при приобретении установки

Рис. 5.6 Сравнение методов, не требующих отдельного нанесения антикоррозионного покрытия, по критериям сроков работ, долговечности покрытия и стоимости установки

## Выводы по разделу 5

1. Приведённая методика проведения многокритериального анализа позволяет:
  - анализировать большое количество технологий и критериев, по которым сравниваются технологии;
  - проводить поэтапный выбор критериев по степени значимости, очевидности (априорности), принципу оценки сравниваемых технологий;
  - быстро создать и гибко настроить аналитические графики и диаграммы благодаря использованию современного программного обеспечения;
  - визуализировать результаты анализа при помощи перевода экспертных оценок в единую балльную шкалу.
2. Методы детонационного и плазменного напыления не следует использовать при восстановлении металлоконструкций Шуховской радиобашни по следующим причинам:
  - низкая степень долговечности по сравнению с лазерным наплавлением – более чем в 2 раза ниже.
  - высокие требования по квалификации рабочей силы – в 2 раза по сравнению с газопламенным напылением.
3. Электродуговая металлизация и газопламенное напыление являются менее затратными методами, но обладают низкими, по сравнению с современными способами восстановления, технологическими показателями. А именно:
  - данные методы являются более чем в 10 раз дешевле лазерного наплавления.
  - электродуговая металлизация обладает в 8 раз более щадящим воздействием на обрабатываемый металл, чем газопламенное напыление.
4. Лазерное наплавление и высокоскоростное газопламенное напыление являются более прогрессивными, но дорогостоящими методами по сравнению с электродуговой металлизацией, газопламенным, детонационным и плазменным напылением. Причём:

- лазерное наплавление в 3 раза более долговечное, чем высокоскоростное напыление;
  - при одинаковых сроках лазерное наплавление имеет в 2 раза более щадящее воздействие на металл восстанавливаемого изделия, чем высокоскоростное напыление;
  - лазерное наплавление на 30% менее вредно для окружающей среды, чем высокоскоростное напыление.
5. Исходя из условий реконструкции Шуховской радиобашни и выполненного многокритериального анализа, рекомендуется принять как наиболее рациональный вариант восстановление металлоконструкций с использованием электродуговой металлизации.

Только для  
некоммерческого  
использования

## **6. ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РЕКОНСТРУКЦИИ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ**

Среди высотных объектов Украины, требующих проведения работ по реконструкции, существуют, по крайней мере, два (дымовые трубы Зуевской и Угледорской ТЭС), при восстановлении которых возможны различные технологические схемы. Специальный режим работы этих сооружений также обуславливает необходимость выбора оптимального решения по организации реконструкционных работ. Аналогичные задачи решались при реконструкции радиобашни им. Шухова. В настоящем разделе выполнен выбор организационно-технологических решений при реконструкции высотного инженерного сооружения на примере Шуховской радиобашни.

### **6.1 Методика проведения исследований**

Задача оптимизации организационно-технологических решений реконструкции башни им. Шухова решена путём: проведения численного моделирования организационно-технологических решений с использованием теории планирования эксперимента, теории экспериментально-статистического моделирования; получения закономерностей изменения критериев оптимизации; последующего анализа результатов исследования, в том числе, при введении ограничений.

Исследование включало в себя следующие этапы:

- укрупнённый расчёт и построение организационно-технологических моделей (календарных графиков) процесса реконструкции в программе MS Project в соответствии с выбранным планом численного эксперимента;
- обработка результатов моделирования с применением современного аппарата математической статистики для получения закономерностей по изменению критериев оптимизации;

- выбор оптимальных организационно-технологических параметров в соответствии с имеющимися ограничениями в технологии, организации и финансировании процесса реконструкции.

Для корректного построения моделей реконструкции необходимы разработка и анализ проектно-сметной документации по объекту реконструкции башни им. Шухова с учётом возможных конструктивных решений, результатов обследования технического состояния башни, действующих норм и правил техники безопасности и охраны труда. При технико-экономическом сравнении необходимо использовать различные технологические схемы производства работ, которые учитывают конструктивные особенности объекта реконструкции. Представленная методика позволяет дать количественную оценку альтернатив технологических решений при изменяющихся вариантах организации процесса реконструкции, условий финансирования и имеющихся ограничений.

Следует отметить, что при построении моделей (календарных графиков) с большим количеством работ (при оптимизации более масштабных проектов) целесообразно укрупнить строительные процессы. После нахождения зоны оптимума показателей необходимо построить один, более подробный, календарный график для производственного использования.

Ниже приведён алгоритм исследования по выбору оптимальных организационно-технологических решений реконструкции инженерных сооружений, на примере башни им. Шухова. Он показан на [рисунке 6.1](#).

Подробный алгоритм проведения подобных исследований приведён в [подразделе 2.2](#). Анализ результатов технического обследования радиобашни им. Шухова проведён в [подразделе 4.1](#).

Построение ЭС-моделей требует применения аппарата математической статистики, суть которого заключается в нахождении коэффициентов модели. Искомые коэффициенты позволяют на основании результатов экспериментов построить формулу, адекватную во всех точках факторного пространства. Для повышения точности расчёта необходимо правильно выбрать план экспериментального исследования, соответствующую плану ковариационную матрицу и задаться адекватными значениями двустороннего риска и погрешности эксперимента [45].

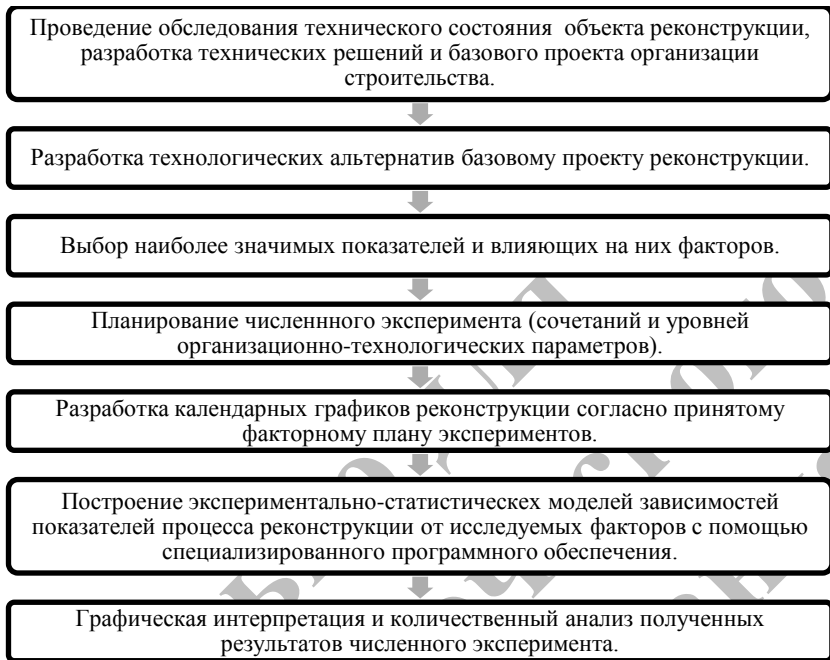


Рис. 6.1 Блок-схема алгоритма исследования по оптимизации проекта реконструкции баши им. Шухова

После нахождения коэффициентов ЭС-модели и построения искомой формулы, представляющей в рамках настоящего исследования полином второй степени, необходимо построить много- и одномерные графики зависимостей показателей от факторов и сделать их анализ, а также определить и исследовать области оптимума (минимумов, максимумов и по среднему) в соответствии с выбранными критериями оптимизации.

Ниже приведён алгоритм анализа результатов исследования и их графической интерпретации, использованный в настоящем исследовании.

1. Предварительный анализ наиболее общих закономерностей исследования путём анализа матрицы (таблицы) результатов эксперимента.



2. Построение базовых многомерных графиков зависимости показателей от всех факторов, их анализ и поиск областей факторного пространства, содержащих точки оптимума.
3. Ранжирование факторов по степени влияния на показатели в зоне максимумов и минимумов показателей.
4. Сравнение нескольких точек оптимума по выбранным критериям: организационным, технологическим, финансовым и др.
5. Построение много- и одномерных графиков с введением ограничений по значениям показателей и факторов.
6. Построение окончательных организационно-технологических моделей реконструкции с учётом найденных оптимальных решений и требуемой детализации.

## **6.2 Разработка технологических альтернатив базовому проекту реконструкции**

Разработка альтернатив показана на примере радиобашни им. Шухова. Большая высота Шуховской радиобашни обуславливает сложности при выполнении восстановительных работ на пятой, шестой, седьмой секциях ([рис. 6.2](#)). По этой причине может потребоваться вертолётный демонтаж этих секций на специально устраиваемую площадку. После проведения работ по реконструкции на данных секциях их следует смонтировать обратно в проектное положение. Использование вертолётного демонтажа является чрезвычайно дорогостоящим мероприятием и поэтому некоторыми из предлагаемых технологических альтернатив предусмотрены методы производства работ, при которых все секции башни остаются в проектном положении.

В случае использования вертолётного демонтажа реконструкцию ствола радиобашни можно условно разбить на 3 этапа:

1. демонтаж оголовка (7 секции) и верхних секций 5 и 6 вертолетом;
2. реконструкция центральной и нижней части ствола башни в проектном положении и секций 5 и 6 на земле;
3. монтаж секций 5 и 6 с помощью вертолета.

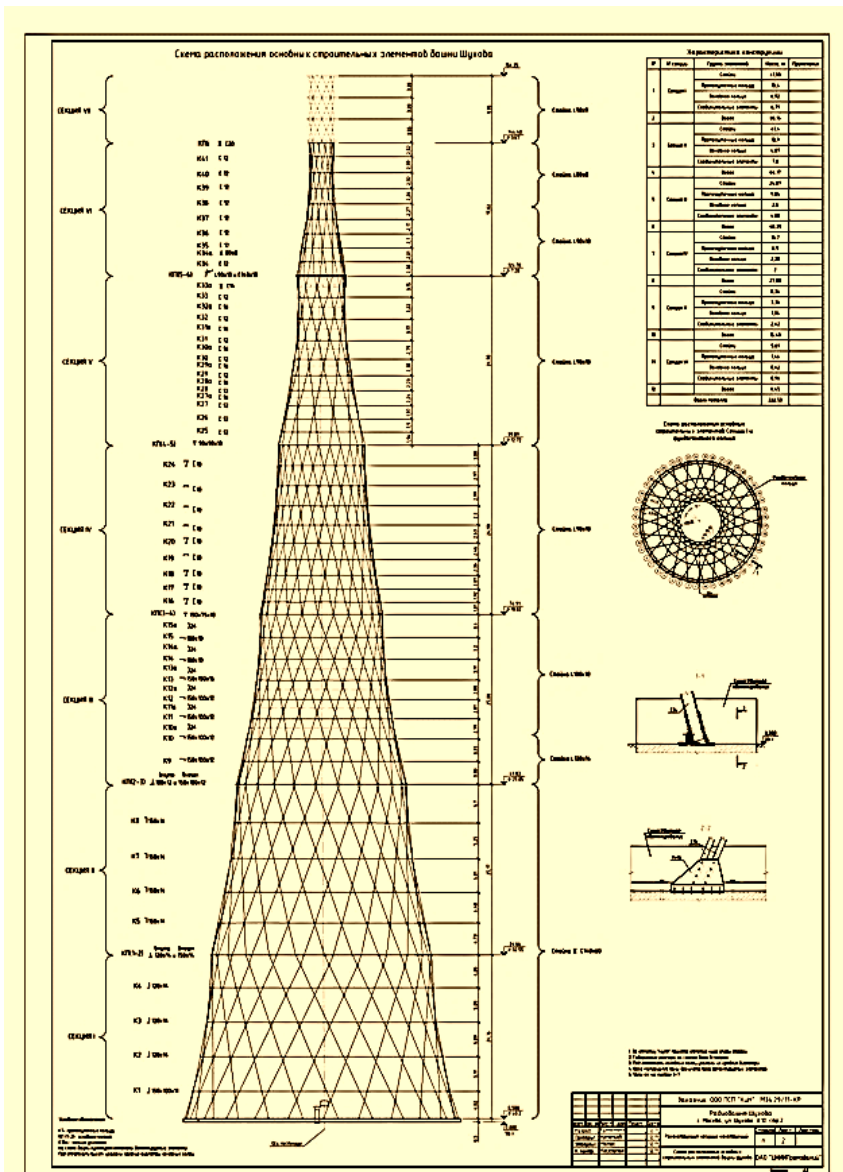


Рис. 6.2 Пример чертежа конструкции радиобашни им. Шухова

Для выполнения работ 1 и 3 этапов выбран вертолет Ми-26, так как его грузоподъемность на монтаже  $Q=16$  т. позволяет сохранить секции 5 и 6 в проектном виде без деления их на демонтируемые блоки, что пришлось бы делать при применении более легкого вертолета.

Вертолетный монтаж (демонтаж) требует тщательного проведения подготовительных работ. Массы всех демонтируемых блоков, должны быть тщательно проверены, все лишние несущие элементы (консольные площадки, антенны, фидера и т.д.) должны быть демонтированы. Монтируемые блоки должны быть взвешены краном на монтажно-вертолетной площадке (МВП) с помощью динамометра  $Q=20$  т. с установленными на них монтажными приспособлениями (ловителями, дополнительными контурами, временными столиками и т.д.).

Вертолетный монтажный цикл при демонтаже состоит из следующих операций:

- строповка блока;
- отрыв блока, вертикальный подъем и перемещение его на территорию МВП;
- укладка блока на подкладки, расчаливание и расстроповка.

Вертолетный монтажный цикл при монтаже состоит из следующих операций:

- строповка блока на МВП;
- транспортировка блока в зону монтажа;
- установка блока с помощью ловителей в проектное положение;
- вертикальное снижение на  $\sim 2$  м. (по команде бортоператора) и ослабление внешней подвески;
- контрольное висение вертолета на монтажной вертикали с целью оценки проектного положения и устойчивости блока;
- дистанционное расстрапливание из вертолета;
- уход вертолета из зоны монтажа вертикально вверх на высоту не менее 30 м. от монтажного стыка.

Ниже приведены три варианта альтернатив технологий реконструкции радиобашни им. Шухова.

*Реконструкция с использованием строительных лесов.*

Особенность этого варианта реконструкции заключается в установке подъемников, подмостей и строительных лесов внутри радиомачты на высоту до отметки +100,0 м. (верхняя отметка четвертой секции – [рис. 6.3](#)). Монтаж осуществляется «с колес» с помощью траверсы балочной конструкции автомобильным краном Liebherr LR-1120-9.1 с телескопической стрелой длиной 119,9 м. и максимальной грузоподъемностью 88,3 т. Секции, расположенные выше отметки +100,0 м., демонтировались с помощью вертолёта. Пятая и шестая секции восстанавливаются на отдельной площадке, седьмая утилизируется.

В центральной части радиомачты монтируют мачтовый грузопассажирский подъемник. По мере возведения лесов, необходимо производить монтаж ветрозащиты, которая обеспечит не только более комфортные условия производства работ, но и значительно снизит ветровое давление на леса, за счет уменьшения турбулентных завихрений вокруг отдельных элементов лесовых конструкций. На лесах устанавливаются монтажные площадки, позволяющие производить работы, как с внутренней, так и с внешней части башни. Таким образом, обеспечивается организация рабочих мест с внешней и внутренней части башни при замене отдельных стержней и узлов ([рис. 6.4](#)).

Строительные леса предназначены также для «вывешивания» секций башни, путем поярусного поддомкрачивания с применением клиновых гидравлических домкратов, устанавливаемых на силовые ригели, размещённые на стойках лесов.

Кроме того, на лесах монтируются переходные трапы и подмости, необходимые для проведения работ по замене отдельных стержней и узлов радиомачты. На этих же подмостях располагается оборудование для восстановления отдельных элементов металлоконструкций, а также иное оборудование и инструменты рабочих.

Реконструкционные работы проводят по принципу снизу-вверх, начиная с поддомкрачивания 1-ой секции, затем 2-ой, 3-й и 4-й.

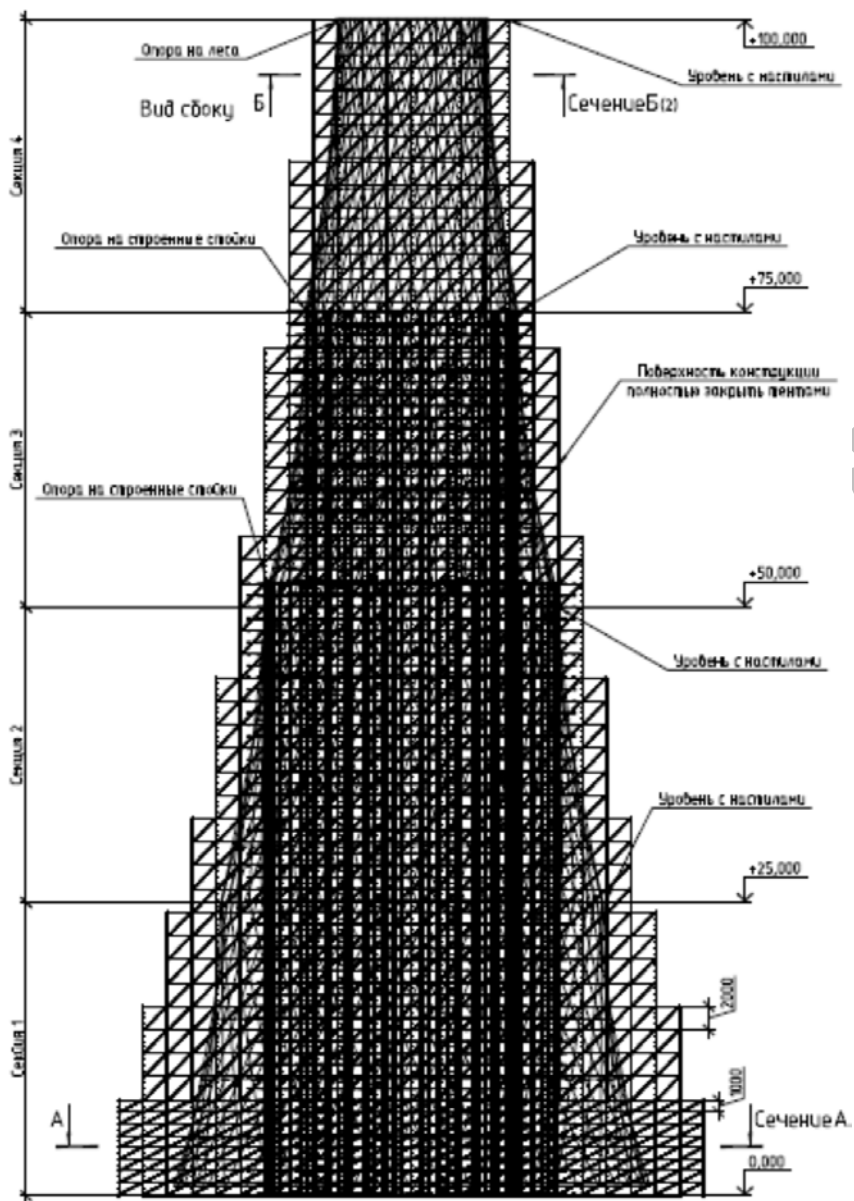


Рис.6.3 Схема устройства строительных лесов



вокруг секций устанавливаются леса для реконструкции узлов. Укрупнительная сборка МИК-С из заводских поставочных элементов осуществляется на удалённых от объекта реконструкции временных строительных площадках. Монтаж укрупненных блоков в проектное положение производится автомобильным краном Liebherr LR-1120-9.1. Блоки силовой инвентарной конструкции доставляются в рабочую зону крана на автомобиле-тягаче с прицепом-ропуск.

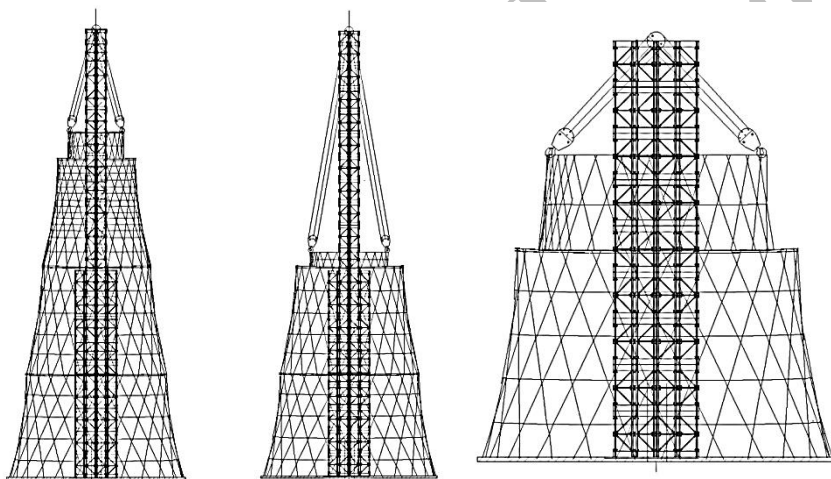


Рис. 6.5 Схемы демонтажа 4, 3 и 2 секций с помощью монтируемых инвентарных конструкций типа МИК-С по принципу «матрёшки»

Первоначально устанавливаются элементы крепления (опорные шарниры). Они собираются из однотипных конструктивных элементов. Временные опоры МИК-С устанавливаются в проектное положение согласно графической части технологической карты. Подъем элементов на стойки производится последовательно от первой опоры ко второй, исключая зазоры между стыковочными элементами. Звенья монтажников, работающих на установке конструкции, должны обеспечивать строповку поднимаемых элементов, приведение конструкций к месту монтажа в положение, близкое к проектному, удерживать элементы от раскачивания канатами. Стropовку конструкции осуществляют за узлы верхнего пояса, отмеченные масляной краской или оборудованные монтажными петлями.



*Реконструкция с установкой подъемных регулируемых шарнирных платформ типа «Змея».*

Особенность данного варианта состоит в том, что внутри радиобашни на всю высоту возводится силовая башня из мостовых инвентарных конструкций МИК-С. Силовая башня устанавливается на специально подготовленный ростверк и натягивается высокопрочными металлическими тросами по всей длине, раскрепляется за реконструируемую башню. Оголовком МИКов являются 4 траверсы с установленными на них прядевыми домкратами, используемыми для «вывешивания» секций при реконструкции. Помимо МИКов ведётся установка подъёмных регулируемых шарнирных платформ типа «Змея» фирмы Scanclimber (рис. 6.6).

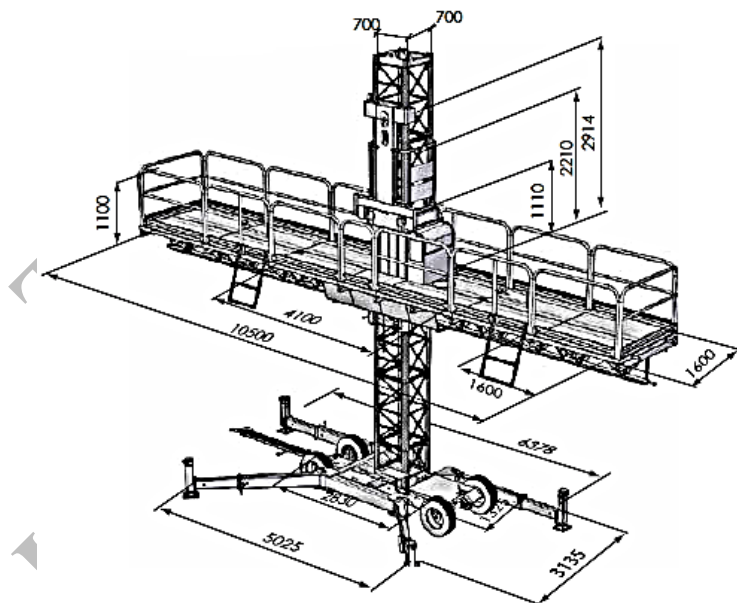


Рис.6.6 Мачтовая самоподъемная рабочая платформа Scanclimber SC8000

К началу монтажа платформ «Змея» в местах их установки укладываются дорожные плиты. Под силовую башню так же, как и в предыдущем варианте, устраивается отдельный фундамент. Укрупнительная сборка МИК-С из заводских поставочных элементов осуществляется на удалённых от объекта



реконструкции временных строительных площадках. Монтаж укрупненных блоков в проектное положение производится автомобильным краном Liebherr LR-1120-9.1. Блоки конструкции доставляются в рабочую зону крана на автомобиле-тягаче с прицепом-ропуск. Также ведётся установка системы технического мониторинга башни.

Реконструкционные работы ведутся в следующей последовательности. Инженер, следящий за мониторинговым оборудованием, при помощи расчётов определяет, с каким усилием требуется раскрепить реконструируемый узел для проведения работ. Далее секция, в которой находится узел, крепится к четырём траверсам посредством тросов, которые натягиваются с рассчитанным инженером усилием. Теперь узел находится в «вывешенном» положении и рабочие могут приступить к его реконструкции. Элементы узла осматриваются. Делается вывод о месте проведения реконструкции. Если элемент прокорродировал более чем на 40%, его демонтируют для реконструкции в заводских условиях. Если же состояние элемента удовлетворительное, его обработкой занимаются на месте. Реконструкционные работы ведутся снизу-вверх. После реконструкции подъёмные платформы, траверсы, домкраты, башня из МИКов демонтируются.

Scanclimber SC8000 является самым подходящим решением, когда грузоподъёмности и размера других мачтовых рабочих платформ недостаточно. Это идеальный выбор не только для рассматриваемого примера, но и для сложных фасадных работ, а также для других проектов, где требуется платформа больших размеров.

Snake («Змея») – шарнирная система крепления платформы, которая может использоваться с SC8000. Каждая секция платформы Snake может плавно поворачиваться на 45 градусов.

Доступны секции двух размеров: 1,5 м. и 0,6 м. Благодаря этому платформа может принимать в горизонтальной плоскости практически любую форму. Кроме того, конфигурацию платформы можно легко изменить в процессе работы. Система Snake подходит для работы на круглых, изогнутых, конусообразных и других поверхностях стен (рис. 6.7). Для радиобашни им. Шухова может быть использована подъемно-регулируемая шарнирная платформа типа «Змея», с шириной площадки в развернутом виде 16,9 м.



Рис. 6.7 Шарнирная система крепления платформы «Змея»

При реконструкции необходимы 3 подъемника, с перестановкой мачт по мере реставрации.

Схемы устройства подъемных регулируемых шарнирных платформ типа «Змея» показаны на [рисунках 6.8 – 6.13](#). Как показано на данных рисунках, реконструкция первой, второй, третьей и четвертой секции ведётся с платформы, установленной на мачте, фундамент которой расположен на уровне земли. При этом пятая и шестая секции восстанавливаются с помощью мачт, закреплённых в уровне опорных колец соответствующей секции. Демонтаж седьмой секции, подлежащей утилизации, можно проводить как с помощью вертолёта, так и с помощью полиспастов обслуживания. В последнем случае разборка седьмой секции проводится на проектных отметках, без использования вертолёта.

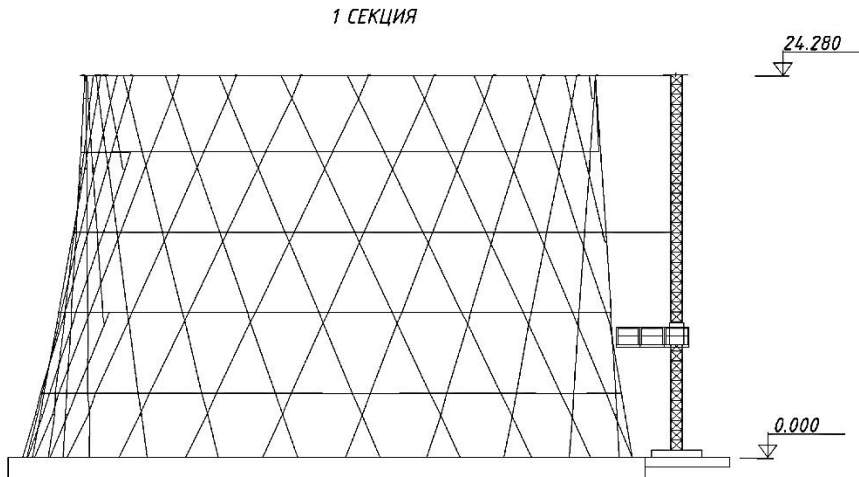


Рис. 6.8 Схема реконструкции 1-й секции башни им. Шухова, с использованием подъемных регулируемых шарнирных платформ типа «Змея»

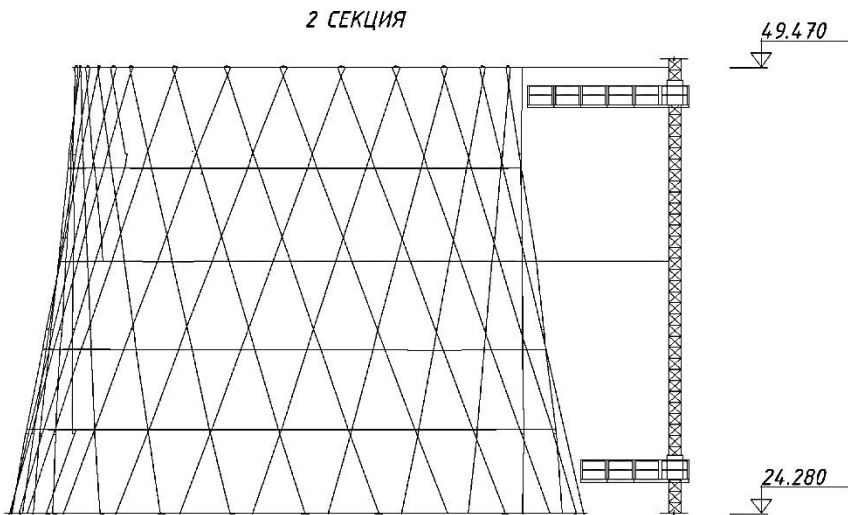


Рис. 6.9 Схема реконструкции 2-й секции башни им. Шухова, с использованием подъемных регулируемых шарнирных платформ типа «Змея»

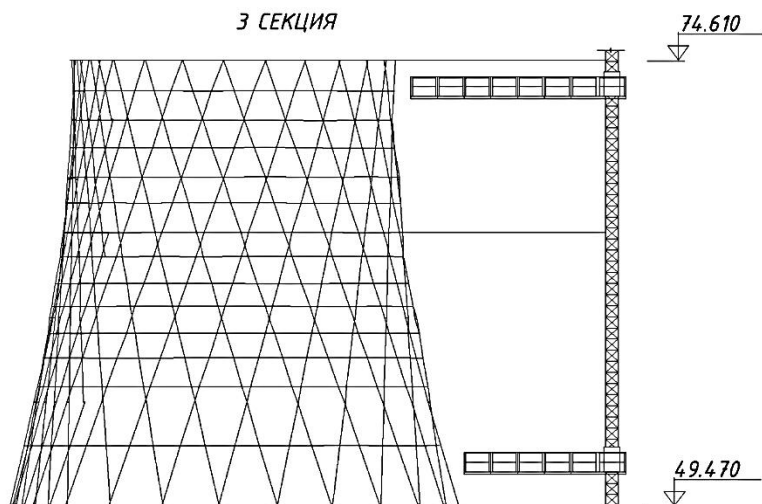


Рис. 6.10 Схема реконструкции 3-й секции башни им. Шухова, с использованием подъемных регулируемых шарнирных платформ типа «Змея»

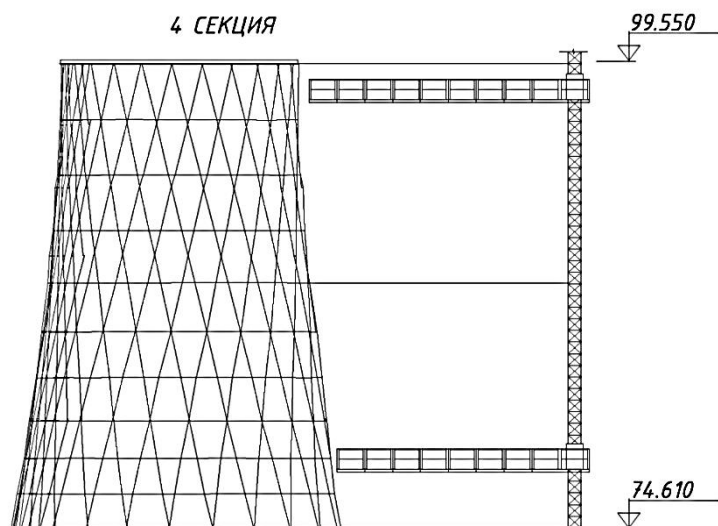


Рис. 6.11 Схема реконструкции 4-й секции башни им. Шухова, с использованием подъемных регулируемых шарнирных платформ типа «Змея»

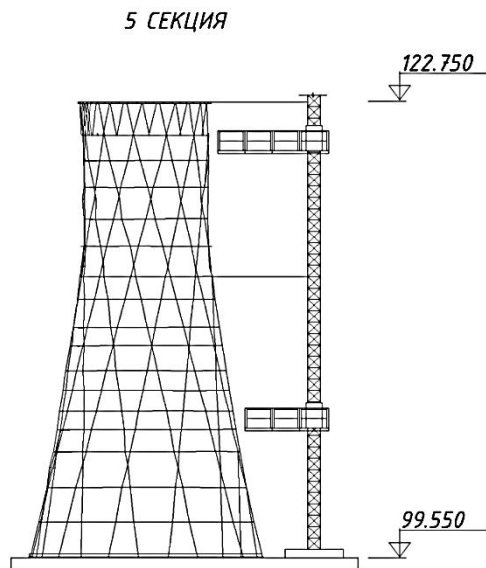


Рис. 6.12 Схема реконструкции 5-й секции башни им. Шухова, с использованием подъемных регулируемых шарнирных платформ типа «Змея»

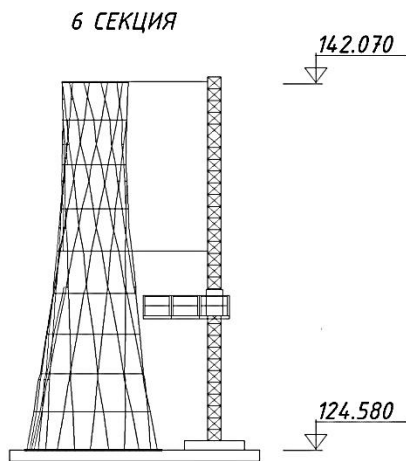


Рис. 6.13 Схема реконструкции 6-й секции башни им. Шухова, с использованием подъемных регулируемых шарнирных платформ типа «Змея»

Преимущества использования данного подъемника при проведении реконструкционных работ:

- Оборудованная реечным механизмом мачтовая самоподъемная рабочая платформа SC8000 – это универсальное удобное устройство, которое является не только надежным подъемником, но и рабочей платформой. Платформа позволяет безопасно и удобно поднимать материалы и персонал на необходимую высоту. Это идеальное решение для сложных высотных работ, а также для проектов, где требуется платформа очень больших размеров.
- Мачтовая самоподъемная рабочая платформа является превосходным средством для любых высотных реставрационных и монтажных работ. Все работы могут выполняться на идеальной с точки зрения эргономики высоте. При необходимости платформу можно защитить от ветра и дождя и даже подогреть, что в некоторых случаях может позволить продолжать работы и в холодное время года.
- Перила, опоясывающие платформу Scanclimber, обеспечивают необходимую безопасность работы. Платформа также оснащена креплениями для ремней безопасности. Эти меры эффективно снижают количество травм, связанных с потерей равновесия и падениями на рабочем месте. Дополнительный уровень защиты обеспечивает мощная тормозная система.

Недостатками указанной производственной оснастки является её стоимость. Один комплект такого подъемника стоит 70000\$. При этом стоимость аренды сопоставима с приобретением оснастки, поэтому является нерациональной.

*Реконструкция с использованием технологии промышленного альпинизма.*

Промышленный альпинизм – специальная технология выполнения высотных работ на объектах, при которых рабочее место достигается с помощью подъёма или спуска по верёвке или с использованием других альпинистских методов продвижения и страховки. Технология позволяет работнику получить доступ к самым труднодоступным местам без использования строительных лесов, люлек или подъёмных механизмов.

Примеры выполнения работ с использованием промышленного альпинизма показаны на [рисунке 6.14](#).

Сфера применения промышленного альпинизма очень широка, но в основном промышленных альпинистов используют в строительстве и при работах по обслуживанию фасадов и конструкций.

Основные преимущества данной технологии заключаются в следующем:

- Отсутствует необходимость монтажа строительных лесов, использования подъемников и другой строительной оснастки.
- Существенно уменьшается риск повреждения покрытий фасада.



Рис. 6.14 Выполнение работ, с использованием промышленного альпинизма



- Промышленный альпинизм позволяет работать в стесненных условиях и труднодоступных местах.
- Оперативность.
- Не имеет ограничений по высоте.
- В некоторых случаях промышленный альпинизм является единственным возможным вариантом для проведения покрасочных и реставрационных работ.

*Реконструкция с использованием выдвижных люлек.*

При реконструкции высотных сооружений возможно использование люлек. Реконструкция радиобашни им. Шухова требует особых выдвижных люлек. Люльки предназначены для подъема людей, инструмента и строительных материалов к рабочему месту для выполнения наружных работ на зданиях и сооружениях различной конфигурации высотой до 100 м.

При использовании предложенного решения устройство конструкции подвесных люлек начинают с монтажа консоли, которая имеет вылет от 2,5 м. до 4,5 м., в зависимости от секции, реконструируемой «Шуховской башни». Для осуществления реконструкции предусмотрено люльки двух типоразмеров: 4 м. и 2 м. в длину. Движение люльки осуществляется при помощи лебедки.

Безопасность люлек от воздействия ветра обеспечивается наличием в люльке так называемого «ловителя», который при обрыве рабочего стального троса или наклоне подвесной платформы на определенный угол включается и блокирует стальной предохранительный трос для предотвращения падения платформы.

Основными преимуществами такой технологии реконструкции является то, что каждая люлька может передвигаться самостоятельно, независимо от остальных, что позволяет выполнять работы с высокой степенью совмещенности технологических процессов и, следовательно, может значительно сократить сроки реконструкции.

Схемы устройства выдвижных люлек с консолями показаны на [рисунках 6.15 - 6.20](#).



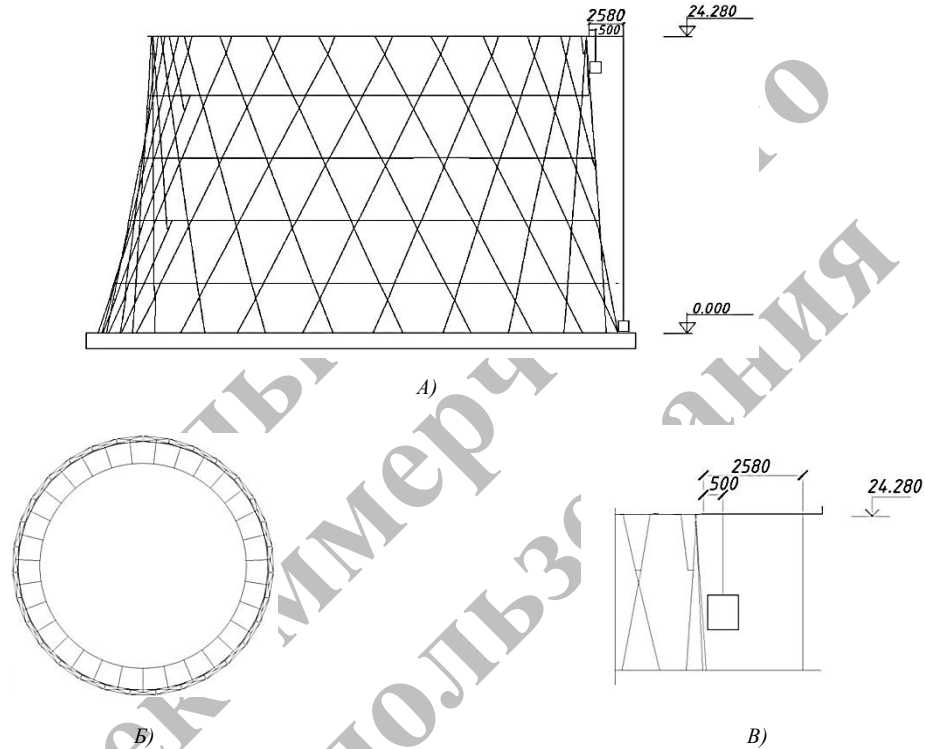


Рис. 6.15 Общий вид 1-ой секции (А), схема расстановки консолей на секции (Б), привязка подвесных люлек относительно радиобаши (В) (примечание: используется 31 выдвижная консоль, длиной 3,08 м., с шагом 4,05 м.; размер люльки 4×0,8м.)

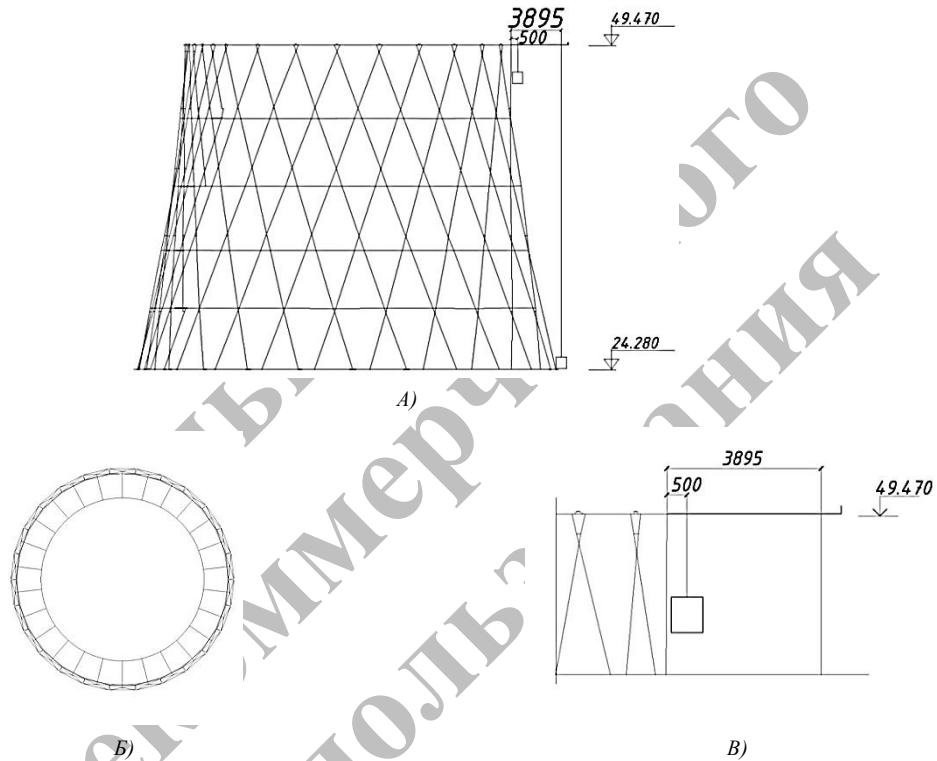


Рис. 6.16 Общий вид 2-ой секции (А), схема расстановки консолей на секции (Б), привязка подвесных люлек относительно радиобаши (В) (примечание: используется 26 выдвжных консолей, длиной 4395 м., с шагом 4,0 м.; размер люльки 4×0,8 м.)

6. ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ  
РЕКОНСТРУКЦИИ ВЫСОТЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

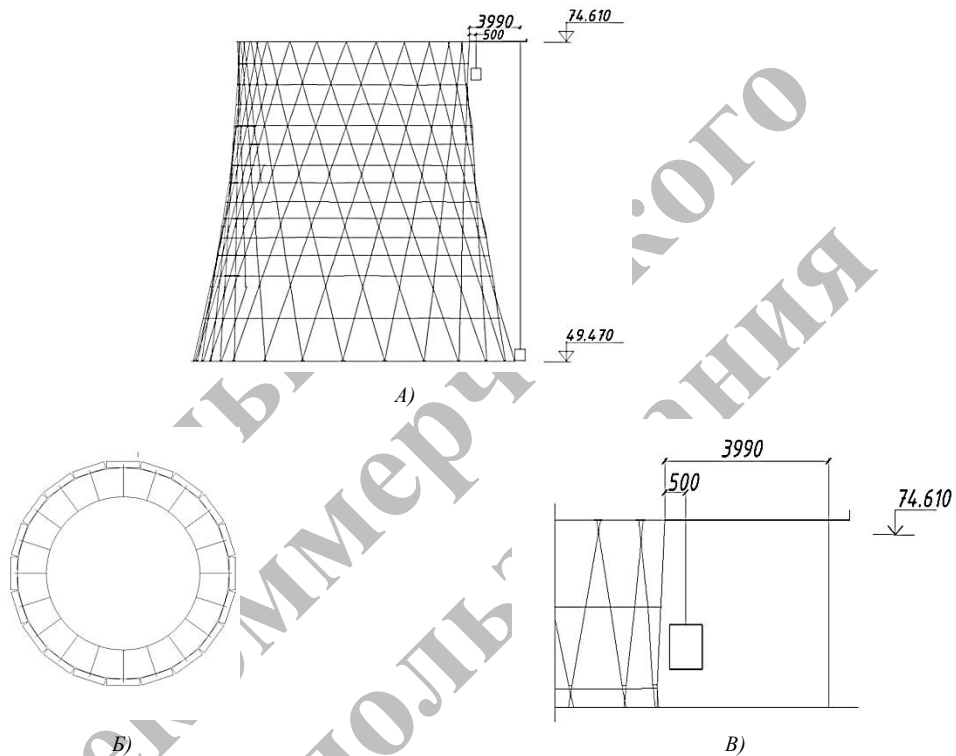


Рис. 6.17 Общий вид 3-ей секции (А), схема расстановки консолей на секции (Б), привязка подвесных люлек относительно радиобаши (В) (примечание: используется 20 выдвижных консолей, длиной 4490 м., с шагом 4,02 м.; размер люльки 4×0,8 м.)

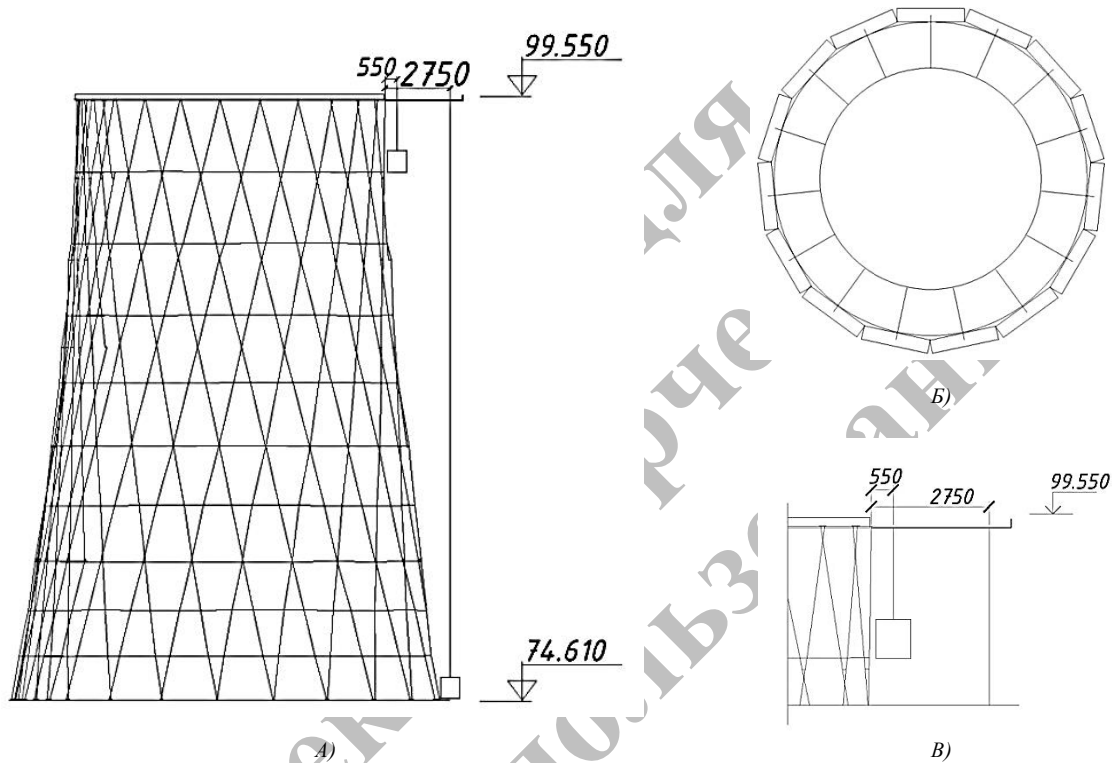


Рис. 6.18 Общий вид 4-ой секции (А), схема расстановки консолей на секции (Б), привязка подвесных люлек относительно радиобаши (В) (примечание: используется 15 выдвижных консолей, длиной 3250 м., с шагом 4,0 м.; размер люльки 4×0,8м.)

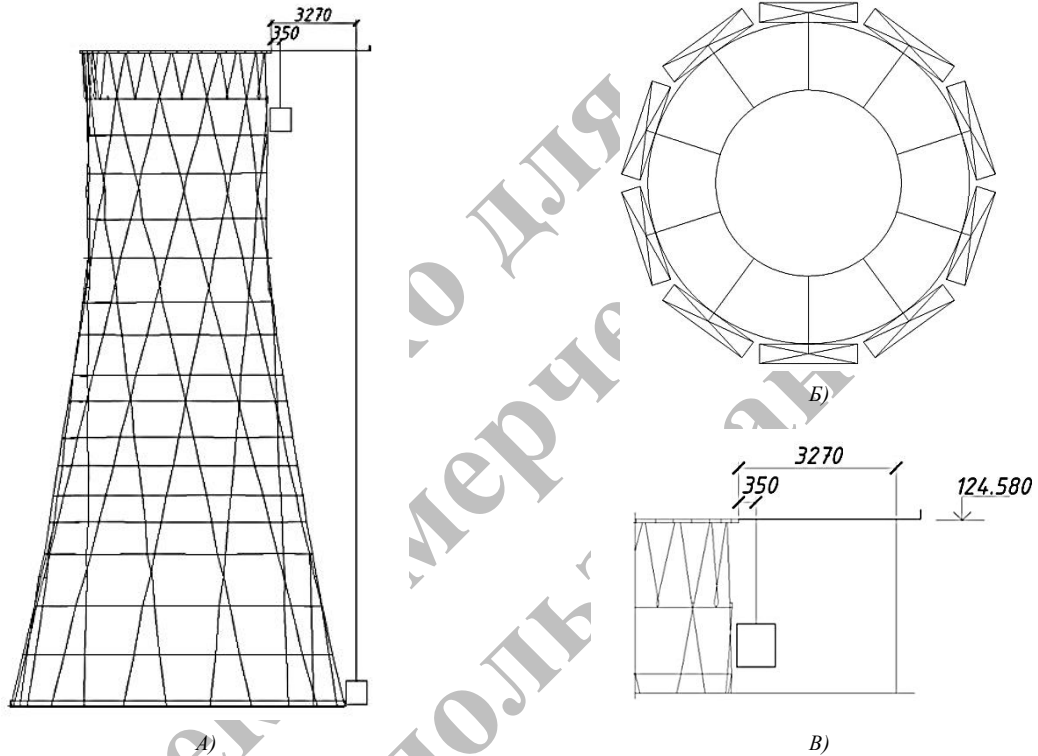


Рис. 6.19 Общий вид 5-ой секции (А), схема расстановки консолей на секции (Б), привязка подвесных люлек относительно радиобаши (В) (примечание: используется 10 выдвижных консолей, длиной 3770 м., с шагом 4,13 м.; размер люльки 4×0,8 м.)

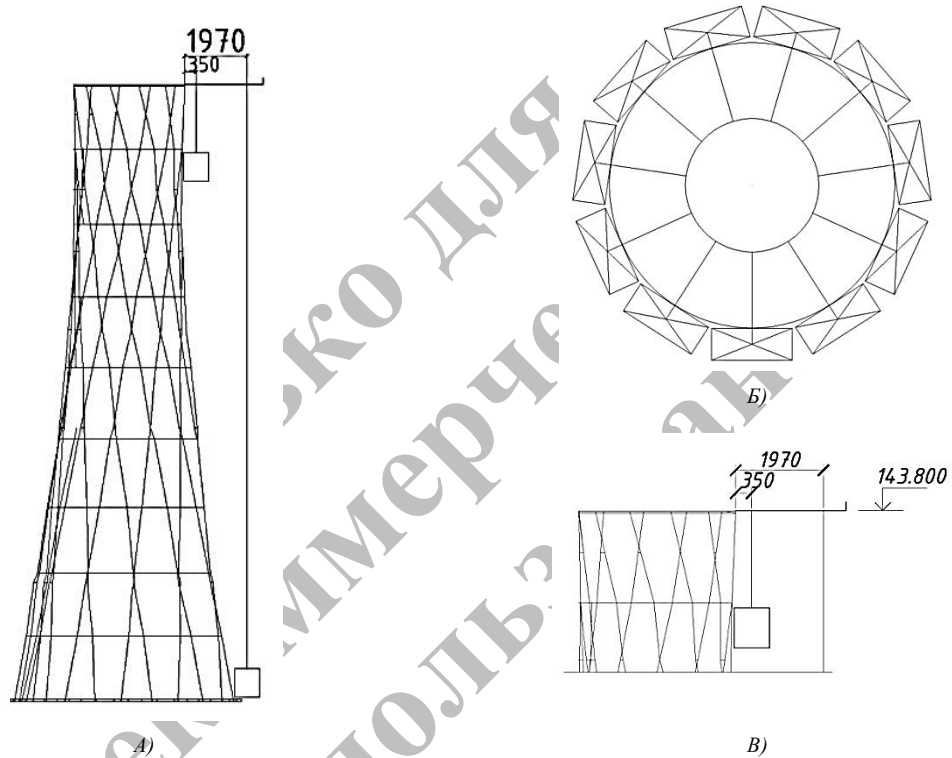


Рис. 6.20 Общий вид 6-ой секции (А), схема расстановки консолей на секции (Б), привязка подвесных люлек относительно радиобаши (В) (примечание: используется 11 выдвигаемых консолей, длиной 2470 м., с шагом 2,03 м.; размер люльки 2×0,8 м.)

*Противоаварийные мероприятия с использованием временной несущей конструкции и метода поярусного поддомкрачивания («вывешивания»).*

Данный метод принят в качестве основного для первого этапа реконструкции – проведения противоаварийных мероприятий. Он заключается в возведении внутри радиобашни временной несущей конструкции с консолями, через которые нагрузки от собственного веса башни будут передаваться на устраиваемое свайное основание с ростверком. Таким образом, радиобашня будет защищена от возможного обрушения, что также позволит выполнять работы по восстановлению стальных элементов, подвергнутых коррозии. В дальнейшем временные несущие конструкции предполагается демонтировать.

Проектной документацией на производство противоаварийных работ предусмотрено:

- демонтаж седьмой секции, технологических площадок и подъемника;
- демонтаж монолитных элементов фундамента радиобашни, находящихся выше отм. 0.000 (бетонного пояса, созданного при проведении реконструкции в 80-х годах XX века),;
- выполнение фундаментов из буроналивных свай, объединенных монолитными ростверками;
- монтаж пространственной металлической конструкции временной опорной башни, служащей для восприятия части вертикальных нагрузок радиобашни им. Шухова;
- монтаж вспомогательной балочно-тросовой системы и «вывешивание» радиобашни.

Временная опорная башня представляет собой пространственную шестигранную в плане решетчатую пирамиду. Башня разделена на 4 секции, первая секция опирается на ростверки фундаментов ([рис. 6.21](#)).

Стойки башни – металлические из трубного профиля, диаметром 1020 мм. – для 1, 2 секций – и 720 мм. – для 3, 4 секций. Для придания большей жесткости и устойчивости конструкции, стойки первой секции заполнены железобетоном. В уровнях сопряжения секций устроены металлические пояса в виде плоских горизонтальных ферм с поясами из швеллеров №30.

В уровне поясов к стойкам опорной башни крепятся консоли коробчатого сечения из двух швеллеров №30, к которым на гибких подвесках

подвешиваются узлы Шуховской радиобашни. Гибкие связи крепятся таким образом, чтобы избежать возникновения изгибающих моментов в элементах башни Шухова.

При расчете опорной части приняты следующие вертикальные нагрузки от Шуховской радиобашни: по 10 т. на каждую консоль первой, второй и третьей секций, по 5 т. на консоли четвертой секции. Согласно результатам расчета, имеется запас по 1 и 2 группам предельных состояний. Таким образом, башня усиления может воспринять на себя до 100% от собственного веса Шуховской башни.

В итоге все нагрузки передаются через стойки первой секции башни усиления на отдельно стоящие монолитные железобетонные ростверки, объединяющие буроналивные сваи (9 свай под каждым ростверком), сваи передают нагрузку на грунт. Размеры ростверка в плане 2,5 x 2,5 м., высота 1,5 м.; высота свай 15 м., диаметр 0,25 м.

Устойчивость башни усиления обеспечена жесткой заделкой стоек в ростверки и канатными крестовыми связями (диаметр канатов 33 мм.), выполненными в каждой секции башни усиления. Сила предварительного натяжения канатов для 1 и 2 секций – 14 т., для 3 и 4 секций – 12 т. Расчет башни усиления велся с учетом возможного увеличения ее высоты еще на 2 секции для проведения работ по реставрации-реконструкции радиобашни. В данном варианте расчета вес от башни Шухова распределялся следующим образом: по 10 т. на каждую консоль первой и второй секций, по 5 т. на консоли третьей и четвертой секций, по 3,5 т. на консоли пятой секции и 2 т. на консоли 6 секции.

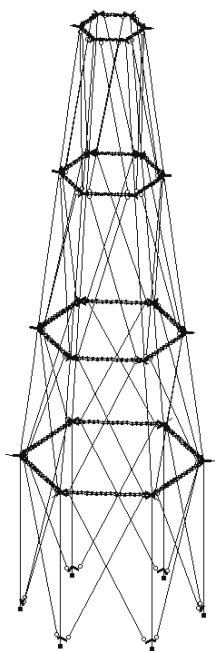


Рис. 6.21 Общий вид расчётной схемы временной несущей конструкции



### 6.3 Обоснование плана численного эксперимента по оптимизации организационно-технологических решений реконструкции

Проведение оптимизационного расчёта предполагает выбор основных показателей реконструкции и факторов, оказывающих влияние на эти показатели. Расчёт проводится с целью выявления зависимостей между факторами и показателями и определения зон оптимальных организационно-технологических решений с финансовой и технической точек зрения. Анализ особенностей объекта реконструкции показывает, что наиболее значимыми из рассмотренных показателей (их перечень представлен в [подразделе 2.4](#)) являются следующие:

- Длительность ( $Y_1$ ) – количество календарного времени от начала первой работы до окончания последней работы на всех захватках с учётом принятой технологической и организационной схемы производства работ.
- Суммарные затраты ( $Y_2$ ) – количество денежных средств, выделяемых на проект реконструкции, включающее в себя, по крайней мере, три составляющие:
  - расходы в течение периода реконструкции (стоимость используемых материалов, машин, механизмов, фонд оплаты труда, накладные расходы на обеспечение реконструкции (транспортные расходы, расходы на обеспечение безопасных условий труда, например, в ночное время);
  - условно постоянные расходы, как расходы, не связанные с объёмом работ по реконструкции – приняты в ценах 2015 г., без учёта инфляции;
  - расходы на оплату предоставляемых денежных средств (налоговые отчисления, оплату процентных ставок) и т. п.
- Выработка ( $Y_3$ ) – (в экономическом смысле) относительный показатель, равный частному от деления суммарной стоимости на суммарную трудоёмкость СМР.
- Экономический эффект ( $Y_4$ ) – зависит от изменения сроков реконструкции и определяется по формуле [50]:

$$\mathcal{E} = 0,5 * C_{\text{сумм.}} * E_n * (1 - T_n/T_6); \quad (6.1)$$

где:

$C_{\text{сумм.}}$  – суммарная стоимость;

$E_n$  – социальная норма дисконта, принята 0,15 [36];

$T_n$  и  $T_6$  – сроки выполнения работ согласно базовой и исследуемой модели. В качестве базовой принята модель строительства, приведённая в ПОС.

- Интенсивность финансирования ( $Y_5$ ) – относительный показатель, равный частному от деления суммарной стоимости на длительность периода реконструкции, выраженный в месяцах.

Следует заметить, что для расчёта суммарных затрат были сложены следующие статьи расходов:

- затраты на производство СМР – приняты согласно смет с учётом индекса изменения сметной стоимости на I квартал 2012 г. ( $K=6,12$ ), затрат на непредвиденные работы (2%), налога на добавленную стоимость (18%);
- накладные расходы на работу в ночное время – рассчитаны как добавочное увеличение затрат на производство СМР для восьми часов работы в тёмный период согласно коэффициенту 1,5 (приведён в [таблице 6.3](#));
- затраты на аренду лесов – приняты согласно смет на уровне 1 041 516,56 руб./мес. (для базового варианта) и изменялись в зависимости от длительности аренды, принятой по графику производства работ в соответствии с планом эксперимента;
- затраты на условно-постоянные расходы – приняты по экспертной оценке на уровне 500 000 руб./мес. и изменялись согласно продолжительности СМР, рассчитанной по соответствующей модели производства работ.

Охарактеризуем факторы, использованные при планировании экспериментального исследования и влияющие на принятые показатели:

- Технологические:
  - вес металлоконструкций, реконструируемых с использованием лесов, в процентах от общего веса ( $V_1$ );
  - вес металлоконструкций, реконструируемых с использованием люлек, в процентах от общего веса ( $V_2$ );

- вес металлоконструкций, реконструируемых с использованием промальпа, в процентах от общего веса ( $V_3$ ).

Данные факторы являются взаимозависимыми, так как суммарное количество реконструируемых металлоконструкций не может превышать 100%. Следовательно, увеличение значения уровня одного из факторов приведёт к соответствующему уменьшению значений уровней других.

Следует отметить, что выбор технологических факторов основан на анализе технологических альтернатив базовому проекту реконструкции ([подраздел 6.2](#)), которым является использование лесов как основной производственной оснастки.

- Организационные:

- степень совмещения работ ( $X_4$ ) – рассчитывается по формуле:

$$K = \frac{\sum t_{\text{смещ.}}}{\sum t_{\text{проц.}}} * 100\% = \frac{\sum t_{\text{проц.}} - t_{\text{оконч.}}}{\sum t_{\text{проц.}}} * 100\%, \quad (6.2)$$

где:

$\sum t_{\text{смещ.}}$  – суммарный резерв времени, высвободившийся в результате совмещения работ между собой.

$\sum t_{\text{проц.}}$  – суммарная продолжительность всех процессов на всех захватках.

$t_{\text{оконч.}}$  – изменённая длительность комплекса работ по реконструкции, полученная в результате совмещения работ между собой.

- коэффициент использования календарного времени в неделю ( $X_5$ ) – отношение суммарного количества рабочего времени в часах за рассматриваемый период времени к календарной длительности периода (в настоящем расчёте за период принята календарная неделя –  $7 \times 24 = 168$  часов) [[63](#)].

План эксперимента с использованием факторов, приведённых выше, показан в [таблице 6.1](#). Графики производства работ, построенные согласно плану, приведены в [приложении](#).

Таблица 6.1

Матрица эксперимента

№ точки	Нормализованные значения факторов					Натурные значения факторов				
	V <sub>1</sub> Вес М/К, реконструируемых с использованием лесов	V <sub>2</sub> Вес М/К, реконструируемых с использованием лоплек	V <sub>3</sub> Вес М/К, реконструируемых с использованием промалпа	X <sub>4</sub> Степень совмещения работ	X <sub>5</sub> Коэффициент использования календарного времени в неделю	V <sub>1</sub> Вес М/К, реконструируемых с использованием лесов, %	V <sub>2</sub> Вес М/К, реконструируемых с использованием лоплек, %	V <sub>3</sub> Вес М/К, реконструируемых с использованием промалпа, %	X <sub>4</sub> Степень совмещения работ, %	X <sub>5</sub> Коэффициент использования календарного времени в неделю, %
0	1,00	0,00	0,00	-1,0	-1,0	100	0	0	0	24
1	0,00	1,00	0,00	-1,0	-1,0	0	100	0	0	24
2	0,5	0,00	0,5	0,0	-1,0	50	0	50	21,08	24
3	1,00	0,00	0,00	-1,0	0,0	100	0	0	0	62
4	0,00	0,00	1,00	-1,0	0,0	0	0	100	0	62
5	0,5	0,5	0,00	-1,0	1,0	50	50	0	0	100
6	0,5	0,5	0,00	0,0	-1,0	50	50	0	21,08	24
7	0,5	0,00	0,5	0,0	0,0	50	0	50	21,08	62
8	0,00	0,5	0,5	0,0	1,0	0	50	50	21,08	100
9	1,00	0,00	0,00	1,0	-1,0	100	0	0	42,15	24
10	0,00	1,00	0,00	1,0	-1,0	0	100	0	42,15	24
11	0,00	0,00	1,00	1,0	-1,0	0	0	100	42,15	24
12	1/3	1/3	1/3	1,0	0,0	33,(3)	33,(3)	33,(3)	42,15	62
13	1,00	0,00	0,00	1,0	1,0	100	0	0	42,15	100
14	0,00	1,00	0,00	1,0	1,0	0	100	0	42,15	100
15	0,00	0,00	1,00	1,0	1,0	0	0	100	42,15	100

#### 6.4 Предпосылки численной оптимизации

В соответствии с плановым (реставрационным) заданием был разработан базовый проект реконструкции башни им. Шухова. В состав проекта были включены следующие документы:

#### Содержание

- материалы технических обследований и акты технического состояния конструкции;
- материалы геологических исследований;
- проект организации строительства;
- рабочая документация, содержащая сведения о металлических конструкциях башни;
- проект системы мониторинга технического состояния башни;
- проекты восстановления оснований и фундаментов башни;
- сметы комплекса ремонтно-восстановительных мероприятий надземной части башни.

Базовая организационно-технологическая схема проекта реконструкции включает в себя следующие комплексы работ:

- подготовительные внутриплощадочные работы;
- устройство монтажной площадки для размещения демонтированных секций;
- устройство дорожных плит;
- монтаж и демонтаж строительных лесов;
- демонтаж и монтаж секций башни с использованием вертолёта;
- очистка металлоконструкций;
- восстановление несущей способности металлических конструкций;
- электромонтажные работы;
- установка системы мониторинга башни;
- благоустройство и озеленение территории.

Указанная технологическая схема обладает рядом технологических и экономических недостатков, среди которых:

1. Применение высотных лесов, технологически сложных в монтаже и обслуживании.
2. Высокая арендная стоимость лесов.
3. Необходимость применения дорогостоящего способа вертолётного демонтажа секций башни, что вызвано ограниченностью работ на лесах по высоте.

4. Необходимость устройства монтажной площадки для размещения демонтированных секций и последующих восстановительных работ.

Для устранения данных недостатков в сравнительный расчёт, кроме базового проекта, были введены две дополнительные технологические схемы производства работ. Они были выбраны в результате анализа технологических альтернатив, показанных в [подразделе 6.2](#). Такими схемами являются:

- применение строительных люлек со специальной оснасткой;
- применение промышленного альпинизма (промальпа).

При этом, номенклатура работ изменилась по сравнению с проектным решением. Для выбранных альтернатив сокращены работы, связанные с вертолётным демонтажем секций башни, и удалены работы по устройству и обслуживанию лесов. Изменения технологических схем по сравнению с базовым проектом можно учесть с помощью соответствующего моделирования процесса реконструкции – численного эксперимента.

Для поиска оптимальных, но неочевидных технологических решений был применён специальный факторный план эксперимента, позволяющий вводить варианты совмещения различных технологических схем в одном строительном объёме. Использование такого плана позволяет при небольшом количестве построенных экспериментальных моделей получить адекватные результаты для любых сочетаний технологических альтернатив. Так, возможны варианты использования одной, двух или трёх указанных выше или других схем в любых соотношениях, сумма использования которых в строительном объёме равна 100%. В качестве меры совмещения был использован тоннаж – вес металлоконструкций башни в тоннах, который реконструируется с использованием одной из технологий. В факторном плане ([табл. 6.1](#)), кроме описанных выше трёх различных вариантов технологий, приняты следующие основные соотношения (уровни взаимного изменения факторов  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ ).

- Совмещение технологий восстановительных работ с применением лесов и люлек в соотношении 50%:50%. Конструктивная особенность башни обуславливает сосредоточение большего количества металлоконструкций в основании башни. В связи с этим для обеспечения заданного соотношения использования технологий достаточно устроить леса до отметки +32 м. по высоте. Металлоконструкции, находящиеся выше дан-

ной отметки, предлагается реконструировать при использовании люлек со специальной оснасткой. Навеска люлек осуществляется в пределах секций № 2-6.

- Совмещение технологий восстановительных работ с применением лесов и промальпа в соотношении 50%:50%. Высота применения лесов аналогична предыдущему варианту (до отметки +32 м.).
- Совмещение технологий восстановительных работ с применением люлек и промальпа в соотношении 50%:50%. В данной схеме предполагается устраивать люльки в пределах секций №1-2.
- Совмещение технологий восстановительных работ с применением лесов, люлек и промальпа в соотношении 33%:33%:33%. Леса предлагается устраивать до отметки + 25,8 м. Люльки предлагается навешивать в пределах секций №2-3. Оставшийся тоннаж металлоконструкций, выше отметки + 62 м., предлагается реконструировать с применением промальпа.

Навеска люлек устраивается по наружной поверхности башни на уровне опорных колец каждой секции с применением траверс, обеспечивающих необходимый вылет для удобства работы на наклонной поверхности башни. Применение люлек на башне, имеющей сложную геометрическую форму, предполагает использование ручных талей, с помощью которых возможно перемещать люльки вдоль траверс и вдоль поверхности башни, обеспечивая их расположение, удобное для работ на различной высоте. Следует заметить, что указанные варианты совмещения технологий предполагают навеску люлек в различных по высоте частях башни, которые имеют различные длины окружностей опорных колец секций. В связи с этим принято разное количество люлек для данных вариантов. Количество люлек, устраиваемое на каждой секции башни, показано в [таблице 6.2](#).

При проведении расчёта были использованы различные варианты организационных схем производства работ, целью которых является интенсификация процесса реконструкции. Средства интенсификации выступили как факторы варьирования. Это:

- степень совмещения работ (рассчитывается по [формуле 6.2](#));
- коэффициент использования календарного времени, характеризующийся числом рабочих часов в неделю.

Таблица 6.2

## Параметры размещения люлек

Секция	Диаметр опорного кольца, м.	Длина окружности опорного кольца, м.	Количество люлек, шт.	Вылет траверсы, м.
2	33,08	103,87	52	4,0
3	25,59	80,35	41	3,8
4	18,61	58,42	30	3,0
5	13,15	41,28	21	3,0
6	7,61	23,90	12	2,4
7	3,33	10,46	6	1,5

Следует заметить, что фактор степени совмещения работ предполагает более плотную увязку работ между собой в календарном графике по сравнению с последовательной схемой производства работ. Для обеспечения безопасности производства высотных работ принято решение размещать люльки и промышленных альпинистов со смещением друг относительно друга по окружности башни, чтобы избежать размещения рабочих в одной плоскости по вертикали.

При изменении базовой технологической схемы сокращаются или удаляются некоторые работы по сравнению с номенклатурой, утверждённой в ПОС базового варианта. Среди данных работ:

- устройство монтажной площадки для размещения демонтированных секций;
- монтаж и демонтаж строительных лесов;
- демонтаж и монтаж секций башни с использованием вертолёт.

Изменение трудоёмкостей и стоимостей работ, которые включены в данные комплексы работ, в численном эксперименте варьируются укрупнённо, согласно весу (тоннажу) демонтируемых или реконструируемых рассматриваемыми способами металлоконструкций.

Введены коэффициенты, изменяющие трудоёмкость и стоимость работ по сравнению со сметными значениями базового варианта реконструкции. Они приняты по экспертной оценке. Коэффициенты и перечни комплексов работ, показатели которых они изменяют, указаны в [таблице 6.3](#).



Таблица 6.3

Коэффициенты, использованные при моделировании процесса реконструкции

Наименование коэффициента	Значение коэффициента	Комплексы работ, трудоёмкости и стоимости которых изменяются при вводе коэффициента
1	2	3
Коэффициент увеличения трудоёмкости при высотных работах (люльки)	1,05	очистка металлоконструкций; восстановление несущей способности металлических конструкций; электромонтажные работы.
Коэффициент увеличения стоимости при высотных работах (люльки)	1,15	очистка металлоконструкций; восстановление несущей способности металлических конструкций; электромонтажные работы.
Коэффициент увеличения трудоёмкости при высотных работах (промальп)	1,15	очистка металлоконструкций; восстановление несущей способности металлических конструкций; электромонтажные работы.
Коэффициент увеличения стоимости при высотных работах (промальп)	1,35	очистка металлоконструкций; восстановление несущей способности металлических конструкций; электромонтажные работы.
Коэффициент увеличения стоимости работ при работе в ночные смены	1,5	все работы согласно принятой номенклатуре

*Примечание.* Коэффициент увеличения стоимости работ при работе в ночные смены условно учитывает увеличение стоимости строительного производства вследствие увеличения ставки накладных расходов на освещение и обеспечение техники безопасности в тёмное время суток.

Указанные коэффициенты применялись в экспериментальных численных моделях совместно. Это означает, что в любом графике производства работ могло быть использовано более одного коэффициента. С окончательными моделями производства работ можно ознакомиться в [приложении](#).

## 6.5 Основные результаты оптимизационного исследования

В настоящем разделе приведены результаты исследования по определению оптимальных организационно-технологических режимов реализации проекта реконструкции башни им. Шухова. По результатам построения моделей строительного процесса (календарных графиков производства работ) были исследованы показатели проекта реконструкции, изменяющиеся под влиянием технологических и организационных факторов. Результаты проведенного исследования приведены в [таблице 6.4](#). Приведём исследуемые показатели проекта реконструкции, признанные наиболее важными в рамках настоящего исследования (по экспертной оценке) (подробнее в [подразделе 6.3](#)):

- длительность, дн. ( $Y_1$ );
- суммарные затраты, млн. руб. ( $Y_2$ );
- выработка, руб. ( $Y_3$ );
- экономический эффект, млн. руб. ( $Y_4$ );
- интенсивность финансирования, млн. руб./мес. ( $Y_5$ ).

Факторы, обладающие наибольшей степенью влияния на исследуемые показатели (по результатам экспертной оценки) разделены на две группы: технологические и организационные (подробнее в [подразделе 6.3](#)). Технологические факторы показывают, какая технологическая схема или их сочетание следует использовать для проведения высотных работ по реконструкции:

- вес металлоконструкций, реконструируемых с использованием лесов, в процентах от общего веса ( $V_1$ );
- вес металлоконструкций, реконструируемых с использованием люлек, в процентах от общего веса ( $V_2$ );
- вес металлоконструкций, реконструируемых с использованием промышленного альпинизма, в процентах от общего веса ( $V_3$ ).

В настоящем исследовании технологические факторы являются взаимозависимыми: увеличение доли использования одной технологии уменьшает долю использования другой. Организационные факторы характеризуют степень интенсификации строительного производства:

- степень совмещения работ ( $X_4$ );
- коэффициент использования календарного времени ( $X_5$ ).

Таблица 6.4

Матрица результатов исследования

№ точки	Натурные значения факторов					Показатели				
	V <sub>1</sub> Вес М/К, реконструируемых с использованием лесов	V <sub>2</sub> Вес М/К, реконструируемых с использованием лесов	V <sub>3</sub> Вес М/К, реконструируемых с использованием промалыта	X <sub>4</sub> Степень совмещения работ	X <sub>5</sub> Коэффициент использования календарного времени в неделю	Длительность периода строительства, дней (Y <sub>1</sub> )	Суммарные затраты, тыс. руб. (Y <sub>2</sub> )	Выработка, руб. (Y <sub>3</sub> )	Экономический эффект, тыс. руб. (Y <sub>4</sub> )	Интенсивность финансирования, тыс. руб. (Y <sub>5</sub> )
0	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,24	1 038,00	142 625,65	1 832,33	0	4 179,38
1	0,00%	100,00%	0,00%	0,00%	0,24	1 010,00	158 156,44	1 956,17	319,97	4 762,96
2	50,00%	0,00%	50,00%	21,08%	0,24	759	178 420,06	2 161,81	3 596,76	7 150,12
3	100,00%	0,00%	0,00%	0,00%	0,62	395	171 626,04	2 204,90	7 973,67	13 215,93
4	0,00%	0,00%	100,00%	0,00%	0,62	365	142 964,35	1 679,25	6 951,95	11 913,70
5	50,00%	50,00%	0,00%	0,00%	1	231	171 670,51	2 194,31	10 009,98	22 604,52
6	50,00%	50,00%	0,00%	21,08%	0,24	784	191 850,75	2 430,51	3 520,96	7 443,19
7	50,00%	0,00%	50,00%	21,08%	0,62	289	163 171,15	1 981,85	8 830,58	17 173,43
8	0,00%	50,00%	50,00%	21,08%	1	187	146 366,98	1 759,54	8 999,88	23 807,46
9	100,00%	0,00%	0,00%	42,15%	0,24	602	181 467,31	2 331,33	5 716,74	9 168,82
10	0,00%	100,00%	0,00%	42,15%	0,24	589	151 235,90	1 870,58	4 906,42	7 810,00
11	0,00%	0,00%	100,00%	42,15%	0,24	555	143 775,61	1 688,78	5 017,60	7 879,59
12	33,3(3)%	33,3(3)%	33,3(3)%	42,15%	0,62	213	155 796,43	1 941,20	9 287,00	22 247,92
13	100,00%	0,00%	0,00%	42,15%	1	143	163 811,53	2 104,51	10 593,30	34 843,36
14	0,00%	100,00%	0,00%	42,15%	1	140	147 225,40	1 820,97	9 552,63	31 986,47
15	0,00%	0,00%	100,00%	42,15%	1	132	140 028,19	1 644,77	9 166,59	32 266,60

Для количественной оценки и анализа зависимостей между показателями и влияющими на них факторами были построены экспериментально-статистические модели, представляющие собой математические зависимости в виде полиномов второй степени. Формулы данных моделей приведены ниже (формулы 6.3-6.7).

$$\begin{aligned}
 Y_1 = & 306,67 V_1 + \bullet + \bullet - 90,96 V_1 X_4 - 304,28 V_1 X_5 + \bullet + 72,31 X_4 X_5 \\
 & + 346,58 V_2 + \bullet - 139,355 V_2 X_4 - 291,06 V_2 X_5 + 159,36 X_5^2 \\
 & + 278,02 V_3 - 90,52 V_3 X_4 - 285,61 V_3 X_5
 \end{aligned} \quad (6.3)$$

$$\begin{aligned}
 Y_2 = & 171138 V_1 + 69657 V_1 V_2 + \bullet - 3983 V_1 X_4 - 11423 V_1 X_5 - 3267 X_4^2 \\
 & + 2869 X_4 X_5 \\
 & + 144095 V_2 + \bullet + \bullet - 5119 V_2 X_5 + 8669 X_5^2 \\
 & + 141338 V_3 - 4923 V_3 X_4 - 4631 V_3 X_5
 \end{aligned} \quad (6.4)$$

$$\begin{aligned}
 Y_3 = & 2192,65 V_1 + 987,4 V_1 V_2 + 197,28 V_1 V_3 - 43,2 V_1 X_4 - 142,91 V_1 X_5 \\
 & - 29,36 X_4^2 + 33,22 X_4 X_5 \\
 & + 1783,44 V_2 + \bullet + \bullet - 61,18 V_2 X_4 + 96,45 X_5^2 \\
 & + 1653,85 V_3 - 55,36 V_3 X_4 - 53,38 V_3 X_5
 \end{aligned} \quad (6.5)$$

$$\begin{aligned}
 Y_4 = & 8261,28 V_1 + \bullet + \bullet + \bullet + 3503,42 V_1 X_5 + \bullet - 823,98 X_4 X_5 \\
 & + 5656,72 V_2 + \bullet + 1770,86 V_2 X_4 + 2958,09 V_2 X_5 + \bullet \\
 & + 7197,53 V_3 + \bullet + 3013,68 V_3 X_5
 \end{aligned} \quad (6.6)$$

$$\begin{aligned}
 Y_5 = & 18188,96 V_1 + \bullet + \bullet + 4173,19 V_1 X_4 + 10802,94 V_1 X_5 + \bullet \\
 & + 2120,78 X_4 X_5 \\
 & + 1783,44 V_2 + \bullet + 3673,82 V_2 X_4 + 9759,32 V_2 X_5 + \bullet \\
 & + 15841,58 V_3 + 4289,17 V_3 X_4 + 9523,59 V_3 X_5
 \end{aligned} \quad (6.7)$$

Для визуализации результатов исследования, содержащего три взаимозависимых фактора, использовались графики, которые называются тернарными. На [рисунке 6.22](#) показан график, содержащий изолинии (линии одинаковых значений) показателя «длительность». Показатель зависит от величины соотношения технологических факторов  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ , выражаемого в процентах. Для поиска уровня каждого из факторов некой точки А необходимо определить координаты по линиям координатной сетки. Каждая линия имеет продолжение за пределами треугольника и численное обозначение в процентах. Это помогает определить, уровень какого из факторов она показывает. Так, для искомой точки А показатель длительности  $Y_1 = 307$  дн.: ( $V_1 = 50\%$ ;  $V_2 = 20\%$ ;  $V_3 = 30\%$ ). Это означает, что для достижения этой величины длительности 50% от суммарного веса металлоконструкций должно реконструироваться с использованием лесов, 20% – люлек и 30% – технологии промышленного альпинизма.

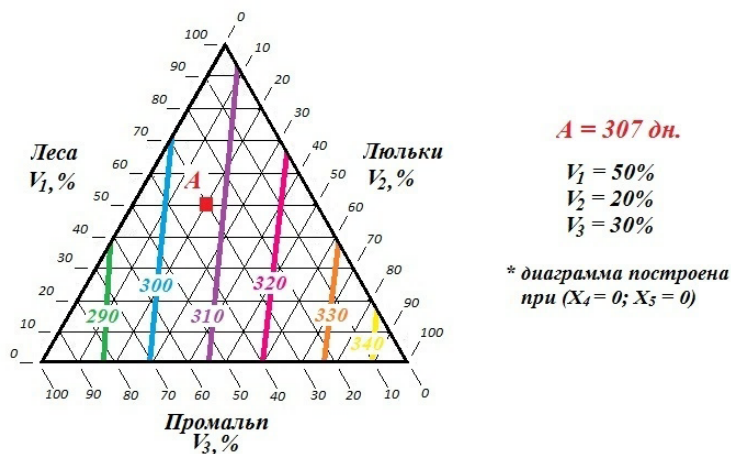


Рис. 6.22 Пример тернарного графика с изменениями показателя «длительность», дн.

На [рис. 6.23](#) показаны диаграммы ранжирования регулирующих (управляющих) воздействий, в качестве которых выбраны:

- изменение технологической схемы производства работ (величины факторов  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ );

- изменение степени совмещения работ (величины фактора  $X_4$ );
- изменение коэффициента использования календарного времени (величины фактора  $X_5$ ).

Диаграммы степени влияния каждого из факторов на каждый из показателей построены в следующих зонах факторного пространства:

- минимума значений показателя;
- максимума значений показателя;
- в середине факторного пространства, то есть при фиксации факторов на средних уровнях: ( $V_1 = 0,33$ ;  $V_2 = 0,33$ ;  $V_3 = 0,33$ ;  $X_4 = 0$ ;  $X_5 = 0$ ).

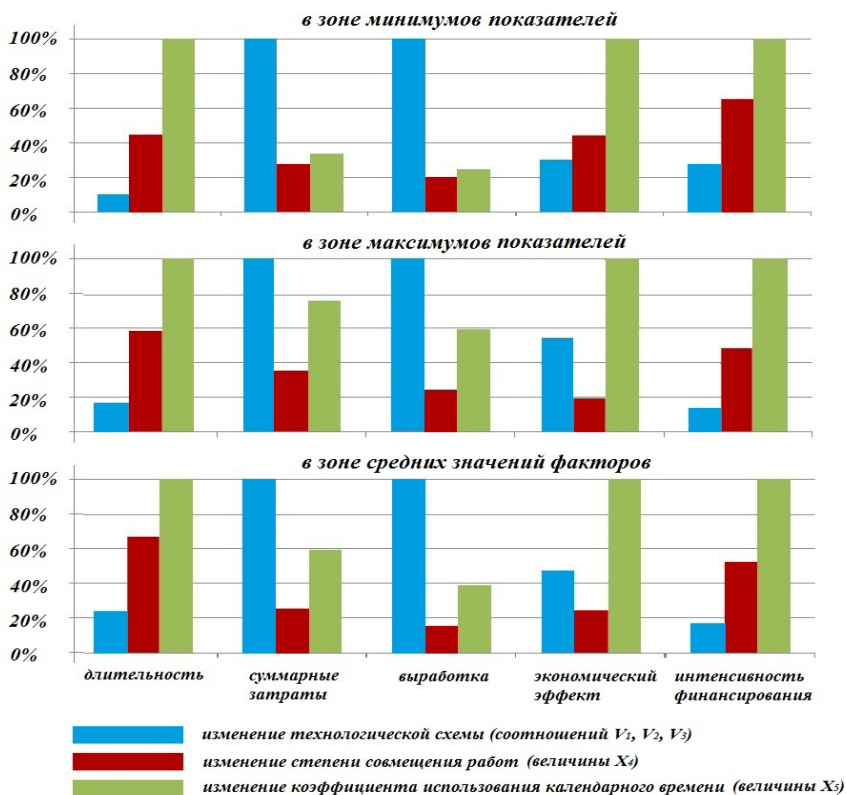


Рис. 6.23 Ранжирование степеней влияния регулирующих воздействий на показатели

Для анализа общих закономерностей влияния факторов на исследуемые показатели многомерное факторное пространство было графически представлено с помощью диаграмм двух типов: «квадраты на треугольнике»; «треугольники на квадрате».

В рамках настоящего исследования диаграммы первого типа удобно использовать для поиска оптимальных организационных режимов производства работ при выбранной одной из трёх технологических схем; диаграммы второго типа – использовать для поиска оптимального сочетания технологических схем или какой-либо одной технологии при выбранных организационных режимах. При построении диаграммы-основания факторы, отражённые на основных диаграммах, были зафиксированы на средних уровнях (в середине факторного пространства).

Рассмотрим диаграммы типа «квадраты на треугольнике». Диаграмма зависимости показателя «длительность» ( $Y_1$ ) от факторов  $X_4$  (степень совмещения одновременного ведения работ),  $X_5$  (коэффициент использования календарного времени) для трех различных технологических схем показана на [рисунке 6.24](#).

Здесь и далее верхний квадрат показывает изменение длительности при реконструкции 100% веса металлоконструкций с использованием лесов ( $V_1 = 1$ ), правый нижний – люлек ( $V_2 = 1$ ), левый нижний – промышленного альпинизма ( $V_3 = 1$ ). В пределах квадрата приведено изменение показателя от двух организационных факторов – степени совмещения работ ( $X_4$ ) и коэффициента использования календарного времени ( $X_5$ ).

В рамках данной диаграммы функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{1\min} = 116$  дн.: ( $V_1 = 0; V_2 = 0; V_3 = 1; X_4 = +1; X_5 = +0,8$ );
- $Y_{1\max} = 1009$  дн.: ( $V_1 = 0; V_2 = 1; V_3 = 0; X_4 = -1; X_5 = -1$ ).

Для определения оптимальных значений показателя «длительность» следует:

- интенсифицировать производство при любой технологии, т.е. увеличить объёмы производства работ в единицу времени, за счёт совмещения работ во времени, максимального использования календарного времени;

Длительность  
(дни)

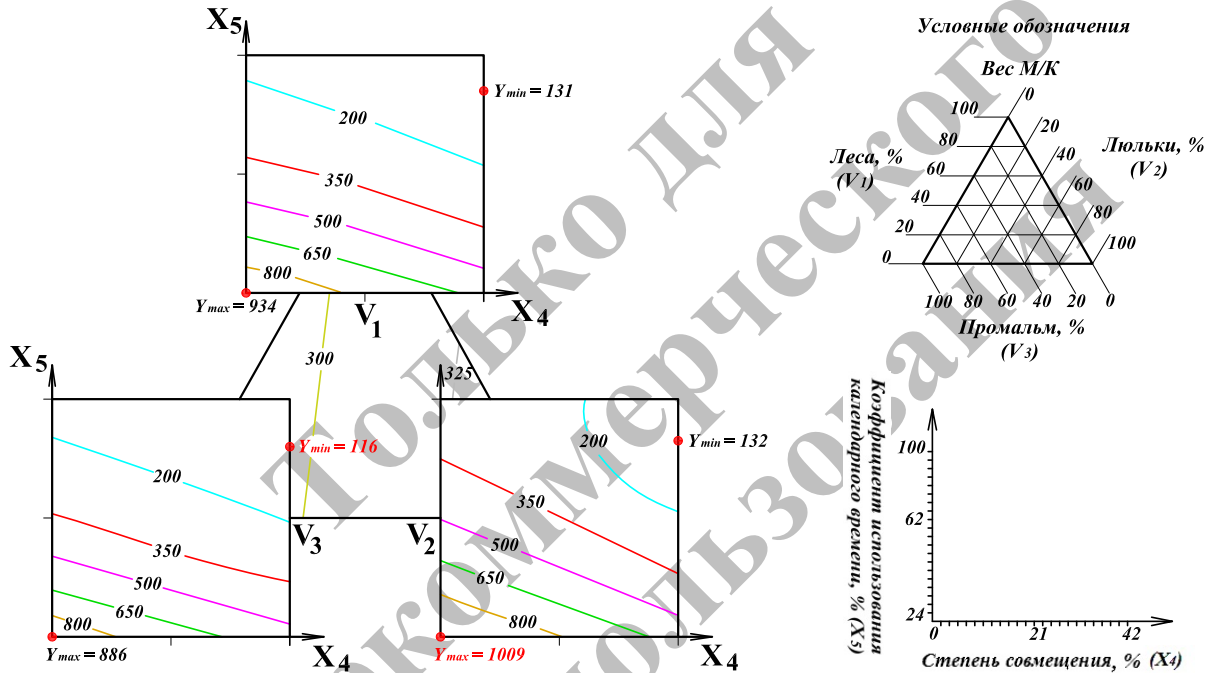


Рис. 6.24 Диаграмма зависимости показателя «длительность» (дн.) от исследуемых организационных факторов для трёх технологических схем



- не допускать проведение работ в ночное время, так как производительность таких работ будет ниже.

Поэтому оптимальный результат по показателю «длительность» ( $Y_1$ ), а именно, его минимальное значение достигается при использовании технологии промышленного альпинизма, 42% совмещения работ, 90% использования календарного времени (7 рабочих дней, 2 смены по 10,5 часов). Значение показателя «длительность» при этом будет составлять 116 дней.

Рассмотрим диаграмму зависимости показателя «суммарные затраты» ( $Y_2$ ) от факторов  $X_4$  (степень совмещения одновременного ведения работ),  $X_5$  (коэффициент использования календарного времени) для трех различных технологических схем. Она показана на [рисунке 6.25](#). В рамках данной диаграммы функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{2min} = 133,06$  млн. руб.: ( $V_1 = 0$ ;  $V_2 = 0$ ;  $V_3 = 1$ ;  $X_4 = +1$ ;  $X_5 = +0,2$ );
- $Y_{2max} = 194,82$  млн. руб.: ( $V_1 = 1$ ;  $V_2 = 0$ ;  $V_3 = 0$ ;  $X_4 = -1$ ;  $X_5 = -1$ ).

Значение показателя «суммарные затраты» состоит из 4-х компонентов:

- затраты без учета аренды;
- накладные расходы на работу в ночное время;
- затраты на аренду лесов (по потребности в технологии);
- затраты на условно-постоянные расходы.

Рассматривая диаграмму, можно увидеть, что показатель увеличивается при уровнях фактора  $X_5$  (коэффициент использования календарного времени), близких к 100%. Это можно объяснить тем, что работы, выполняемые в ночные смены, имеют меньшую производительность, и стоимость их производства считается с учётом коэффициента увеличения стоимости работ – 1,5.

Также важный показатель, который влечет за собой увеличение суммарных затрат – это затраты на условно-постоянные расходы. Расходы на УПР приняты на уровне 500 000 руб./месяц. Поэтому значительное увеличение продолжительности строительства может увеличить суммарные затраты на реконструкцию.

Суммарные затраты  
(млн. руб.)

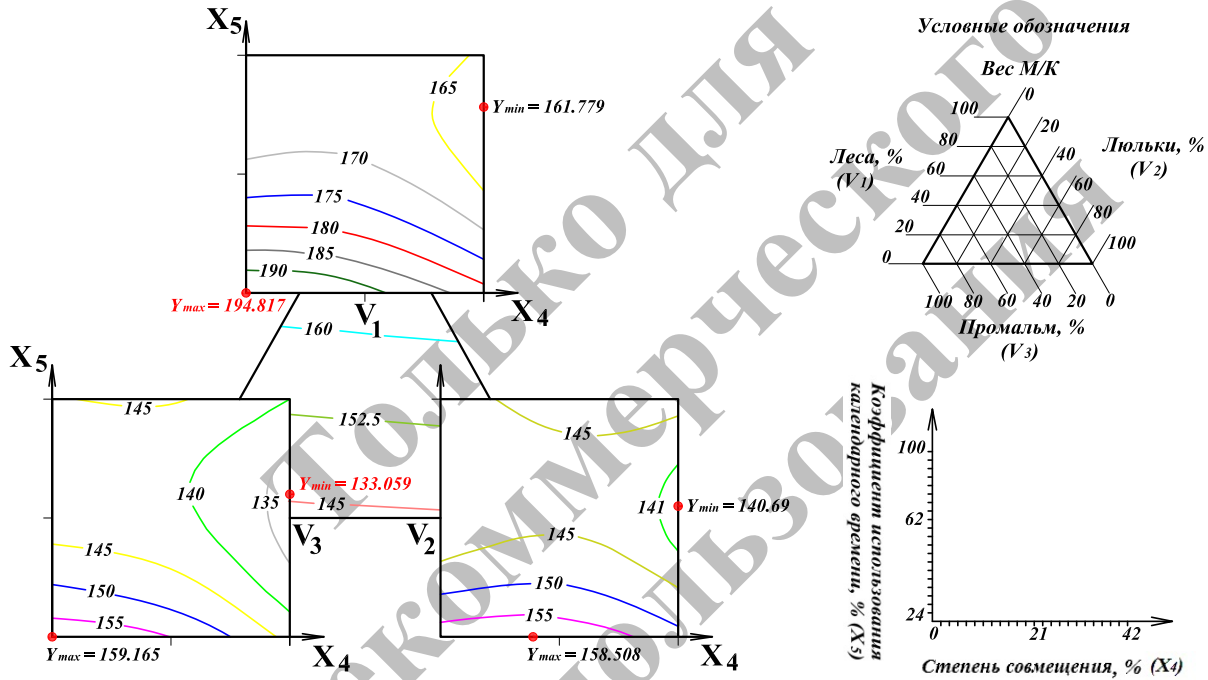


Рис. 6.25 Диаграмма зависимости показателя «суммарные затраты» (млн. руб.) от исследуемых организационных факторов для трёх технологических схем

Минимальный результат по показателю «суммарные затраты» ( $Y_2$ ) достигается при использовании технологии промышленного альпинизма, 42% степени совмещения работ, 70% использования календарного времени (6 рабочих дней, 2 смены по 10 часов). Значение показателя «суммарные затраты» при этом составляет 133,06 млн. руб.

Рассмотрим диаграмму зависимости показателя «выработка» ( $Y_3$ ) от факторов  $X_4$  (степень совмещения одновременного ведения работ),  $X_5$  (коэффициент использования календарного времени) для трех различных технологических схем. Она показана на [рисунке 6.26](#).

В рамках данной диаграммы функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{3\min} = 1568$  руб.: ( $V_1 = 0; V_2 = 0; V_3 = 1; X_4 = +1; X_5 = +0,2$ );
- $Y_{3\max} = 2479$  руб.: ( $V_1 = 1; V_2 = 0; V_3 = 0; X_4 = -1; X_5 = -1$ ).

Показатель «выработка» определяется отношением суммарных затрат к суммарной трудоемкости. Так как трудоёмкость в пределах одной технологической схемы не изменяется, изменение значения показателя «суммарные затраты» повлечет за собой изменение показателя «выработка».

Максимальное значение показателя «выработка» ( $Y_3$ ) достигается при технологии с использованием лесов, последовательном ведении работ (0% степени совмещения работ), 24% использования календарного времени (5 рабочих дней, 1 смена по 8 часов). Значение показателя «выработка» при этом составляет 2479 руб.

Рассмотрим диаграмму зависимости показателя «экономический эффект» ( $Y_4$ ) от организационных факторов  $X_4$  (степень совмещения одновременного ведения работ),  $X_5$  (коэффициент использования календарного времени) для трех различных технологических схем. Она показана на [рисунке 6.27](#).

В рамках данной диаграммы функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{4\min} = 0,104$  млн. руб.: ( $V_1 = 0; V_2 = 1; V_3 = 0; X_4 = -1; X_5 = -1$ );
- $Y_{4\max} = 12,559$  млн. руб.: ( $V_1 = 1; V_2 = 0; V_3 = 0; X_4 = -1; X_5 = +1$ ).

**Выработка  
(тыс. руб.)**

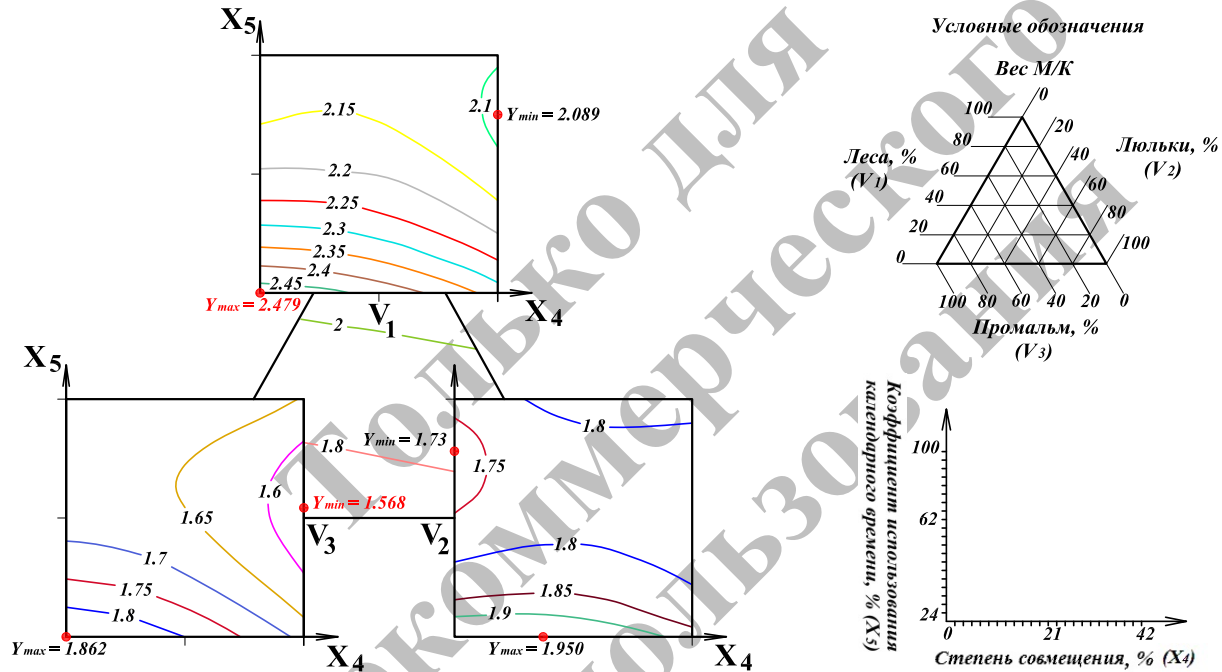


Рис. 6.26 Диаграмма зависимости показателя «выработка» (руб.) от исследуемых организационных факторов для трёх технологических схем

[Содержание](#)

Экономический эффект  
(млн. руб.)

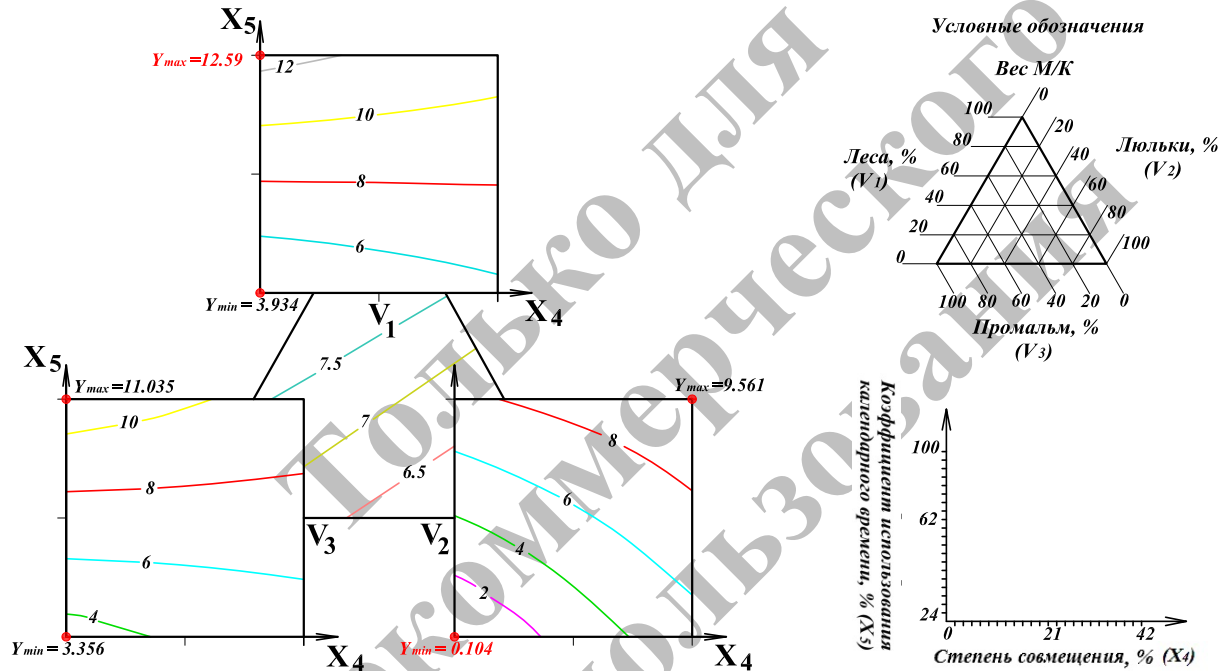


Рис.6.27 Диаграмма зависимости показателя «экономический эффект» (млн. руб.) от исследуемых организационных факторов для трёх технологических схем

Рассматривая диаграмму, можно увидеть, что в зонах, где применяются технологии с использованием лесов и промышленного альпинизма, значения показателей выше, чем при технологии с использованием выдвигных люлек с консолями.

Работы по монтажу/демонтажу производственной оснастки при технологии с использованием выдвигных люлек лежат на критическом пути. Поэтому при использовании такой технологии достичь максимального экономического эффекта от сокращения продолжительности реконструкции будет сложнее.

Наилучший результат по показателю «экономический эффект» ( $Y_4$ ) достигается при технологии использования лесов, 0% совмещения работ, 100% использования календарного времени (7 рабочих дней, 3 смены по 8 часов). Значение показателя «экономический эффект» при этом составляет 12,6 млн. руб.

Рассмотрим диаграмму зависимости показателя «интенсивность финансирования» ( $Y_5$ ) от организационных факторов  $X_4$  (степень совмещения одновременного ведения работ),  $X_5$  (коэффициент использования календарного времени) для трех различных технологических схем. Она показана на [рисунке 6.28](#).

В рамках данной диаграммы функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{5\min} = 4,15$  млн. руб./мес.: ( $V_1 = 0; V_2 = 0; V_3 = 1; X_4 = -1; X_5 = -1$ );
- $Y_{5\max} = 35,285$  млн. руб./мес.: ( $V_1 = 1; V_2 = 0; V_3 = 0; X_4 = +1; X_5 = +1$ ).

Данный показатель связан с показателем «длительность», т.е. величина финансирования, приходящегося на 1 месяц, напрямую зависит от продолжительности строительства (при большой продолжительности – интенсивность финансирования меньше, и наоборот). Следовательно, большее влияние на показатель оказывают организационные факторы  $X_4$  (степень совмещения одновременного ведения работ),  $X_5$  (коэффициент использования календарного времени).

**Интенсивность финансирования  
(млн. руб.)**

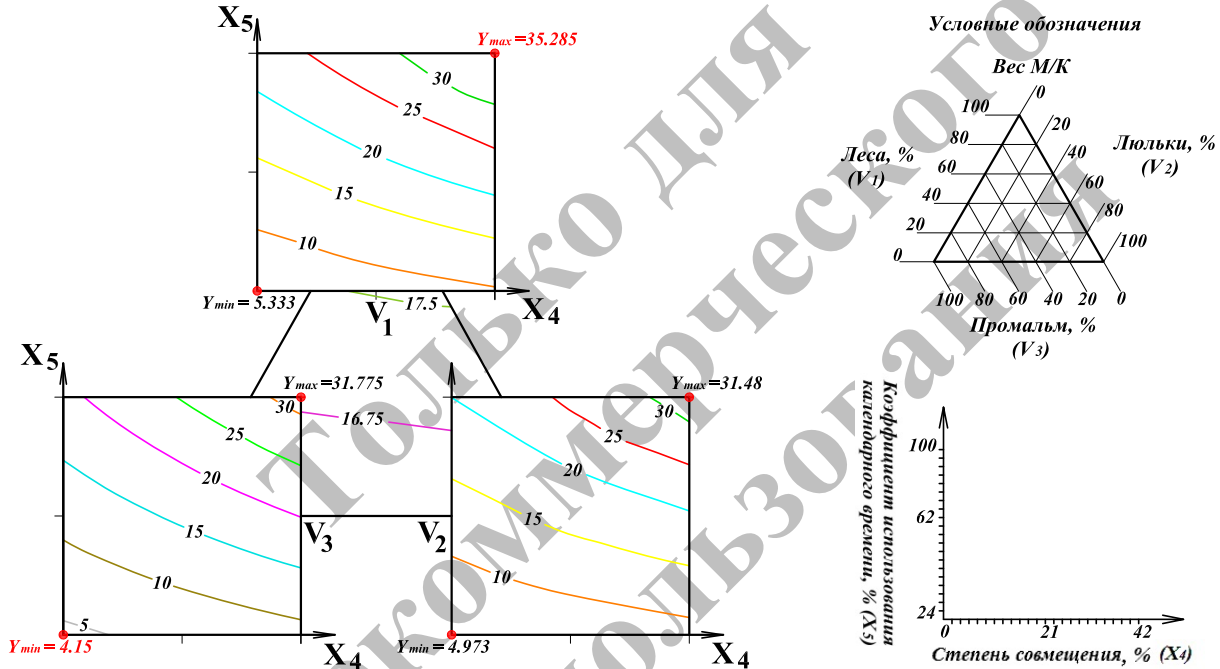


Рис. 6.28 Диаграмма зависимости показателя «интенсивность финансирования» (млн. руб./мес.) от исследуемых организационных факторов для трёх технологических схем

Минимальное значение показателя «интенсивность финансирования» ( $Y_3$ ) достигается при использовании промышленного альпинизма, 0% совмещения работ, 24% использования календарного времени (5 рабочих дней, 1 смена по 8 часов). Значение показателя «интенсивность финансирования» при этом составляет 4,15 млн. руб./месяц.

Рассмотрим диаграммы типа «треугольники на квадрате». Такие диаграммы позволяют выбрать наиболее эффективное соотношение различных технологий производства высотных работ на объекте реконструкции при основных сочетаниях уровней организационных факторов. Для интерпретации каждой из таких тернарных диаграмм следует использовать «легенду», находящуюся в правой части рисунка.

Рассмотрим диаграмму зависимости показателя «длительность» ( $Y_1$ ) от факторов  $V_1$  (использование лесов),  $V_2$  (использование люлек),  $V_3$  (использование промышленного альпинизма) для девяти различных организационных схем. Она показана на [рисунке 6.29](#).

В рамках данной диаграммы функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{\min} = 133$  дн.: ( $V_1 = 0$ ;  $V_2 = 0$ ;  $V_3 = 1$ ;  $X_4 = +1$ ;  $X_5 = +1$ );
- $Y_{\max} = 1004$  дн.: ( $V_1 = 0$ ;  $V_2 = 1$ ;  $V_3 = 0$ ;  $X_4 = -1$ ;  $X_5 = -1$ ).

Рассматривая диаграмму, можно увидеть, что характер влияния технологических факторов на показатель изменяется в зависимости от уровня степени совмещения работ (при его уменьшении продолжительность реконструкции увеличивается).

При любой технологической схеме или их сочетании возможно сократить длительность работ до значения, превышающего минимальное всего на 1-7%, то есть до 135-145 дней. Решающее значение для величины длительности играют организационные факторы. Для выбора оптимальных соотношений факторов необходимо рассмотреть их влияние на другие показатели.

Рассмотрим диаграмму зависимости показателя «суммарные затраты» ( $Y_2$ ) от факторов  $V_1$  (использование лесов),  $V_2$  (использование люлек),  $V_3$  (использование промышленного альпинизма) для девяти различных организационных схем. Она показана на [рисунке 6.30](#).



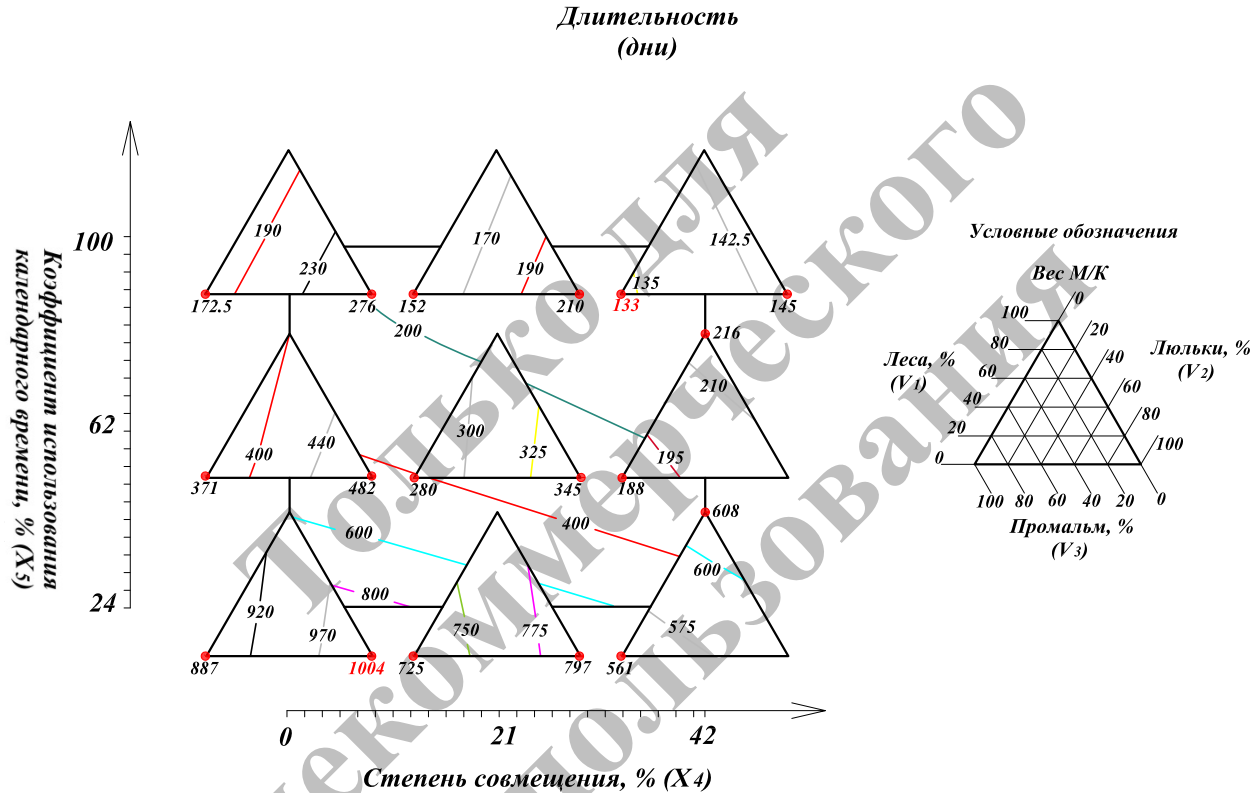


Рис. 6. 29 Диаграмма зависимости показателя «длительность» (дн.) от исследуемых технологических факторов для девяти различных организационных схем

[Содержание](#)

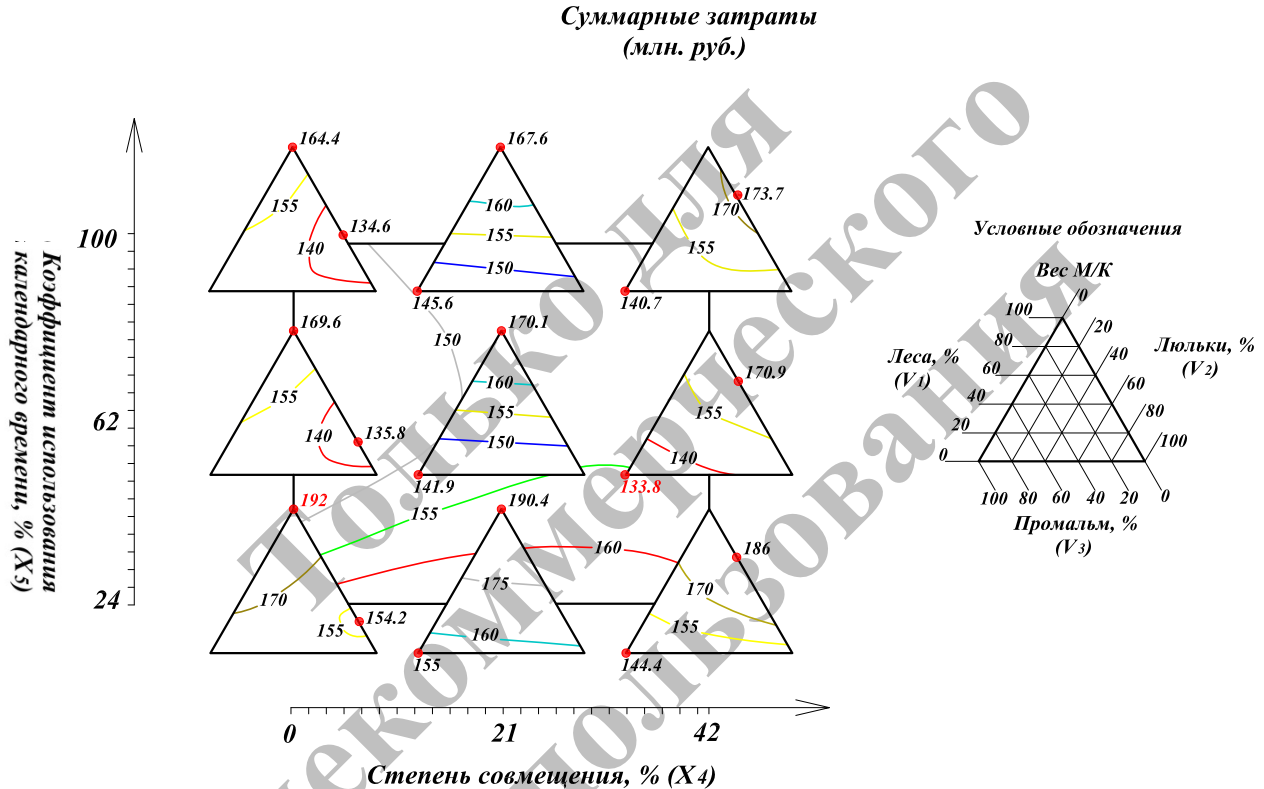


Рис. 6.30 Диаграмма зависимости показателя «суммарные затраты» (млн. руб.) от исследуемых технологических факторов для девяти различных организационных схем

В рамках данной диаграммы ([рис. 6.30](#)) функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{2\min} = 133,8$  млн. руб.: ( $V_1 = 0; V_2 = 0; V_3 = 1; X_4 = +1; X_5 = 0$ );
- $Y_{2\max} = 192$  млн. руб.: ( $V_1 = 1; V_2 = 0; V_3 = 0; X_4 = -1; X_5 = -1$ ).

Характер влияния технологических факторов на показатель «суммарные затраты» зависит от уровня фактора «степень совмещения».

Рассмотрев диаграмму можно увидеть, что:

- при 0% совмещения работ, 100% использования календарного времени, сочетании технологий с использованием люлек на 70% и лесов на 30% веса металлоконструкций суммарные затраты достигают значений, близких к оптимальным, а именно 134,6 млн. руб.;
- при 42% совмещения работ, 62% использования календарного времени, применении технологии промышленного альпинизма суммарные затраты достигают значений, близких к оптимальным, а именно 133,8 млн. руб.

Таким образом, существует два практически одинаково эффективных варианта выполнения работ с точки зрения оптимизации затрат.

При максимальной степени совмещения работы по монтажу/демонтажу люлек, находящиеся на критическом пути, препятствуют сокращению продолжительности реконструкции. Таким образом, при одинаковом совмещении сроки выполнения работ с помощью технологии промышленного альпинизма оказываются несколько меньше, что приводит к уменьшению суммарных затрат. Минимальный результат по показателю «суммарные затраты» ( $Y_2$ ) достигается при использовании технологии промышленного альпинизма, 42% совмещения работ, 62% использования календарного времени (5 рабочих дней, 2 смены по 10,4 часа). Значение показателя при этом будет составлять – 133,8 млн. руб.

Рассмотрим диаграмму зависимости показателя «выработка» ( $Y_3$ ) от факторов  $V_1$  (использование лесов),  $V_2$  (использование люлек),  $V_3$  (использование промышленного альпинизма) для девяти различных организационных схем. Она показана на [рисунке 6.31](#).

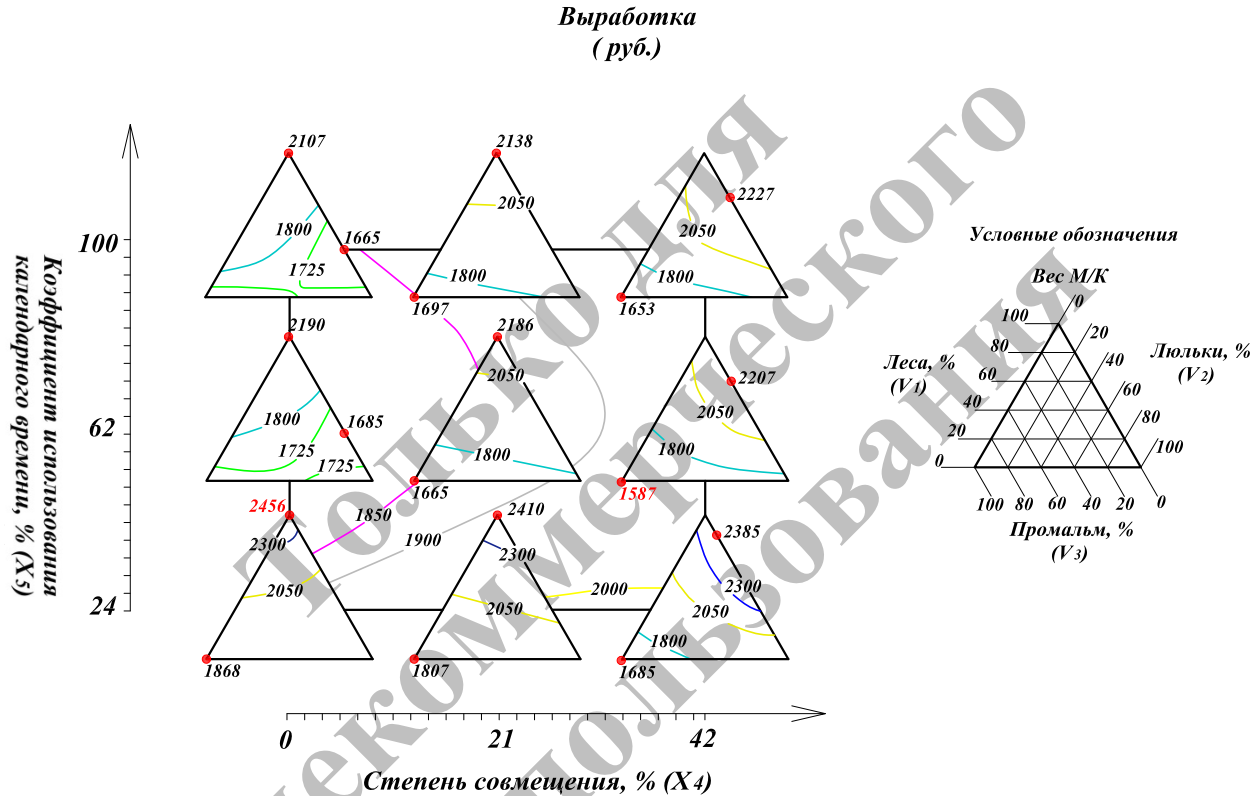


Рис. 6.31 Диаграмма зависимости показателя «выработка» (руб.) от исследуемых технологических факторов для девяти различных организационных схем

В рамках данной диаграммы функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{3\min} = 1587$  руб.: ( $V_1 = 0; V_2 = 0; V_3 = 1; X_4 = +1; X_5 = 0$ );
- $Y_{3\max} = 2456$  руб.: ( $V_1 = 1; V_2 = 0; V_3 = 0; X_4 = -1; X_5 = -1$ ).

Анализируя диаграмму, можно заметить, что фактор «степень совмещения работ» оказывает незначительное влияние на показатель. Наибольшим влиянием обладает выбор технологии производства высотных работ (так как от этого зависит общая трудоёмкость проекта) и коэффициент использования календарного времени (изменение его уровня влияет на сумму условно-постоянных расходов, что приводит к увеличению суммарных затрат, а соответственно, и выработки)

Наилучший результат по показателю «выработка» ( $Y_3$ ) достигается при технологии с использованием строительных лесов, 0% совмещения работ, 24% использования календарного времени (5 рабочих дней, 1 смена по 8 часов). Значение показателя «выработка» при этом будет составлять 2456 руб.

Рассмотрим диаграмму зависимости показателя «экономический эффект» ( $Y_4$ ) от факторов  $V_1$  (использование лесов),  $V_2$  (использование люлек),  $V_3$  (использование промышленного альпинизма) для девяти различных организационных схем. Она показана на [рисунке 6.32](#).

В рамках данной диаграммы функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{4\min} = 0,19$  млн. руб.: ( $V_1 = 0; V_2 = 1; V_3 = 0; X_4 = -1; X_5 = -1$ );
- $Y_{4\max} = 12,5$  млн. руб.: ( $V_1 = 1; V_2 = 0; V_3 = 0; X_4 = -1; X_5 = +1$ ).

Характер влияния технологических схем или их сочетаний на показатель зависит от степени совмещения работ. Это можно объяснить тем, что при выборе технологии изменяется номенклатура работ. Следовательно, при различной номенклатуре работ влияние фактора  $X_4$  на экономический эффект будет различно.

Значение экономического эффекта зависит от фактора степени совмещения:

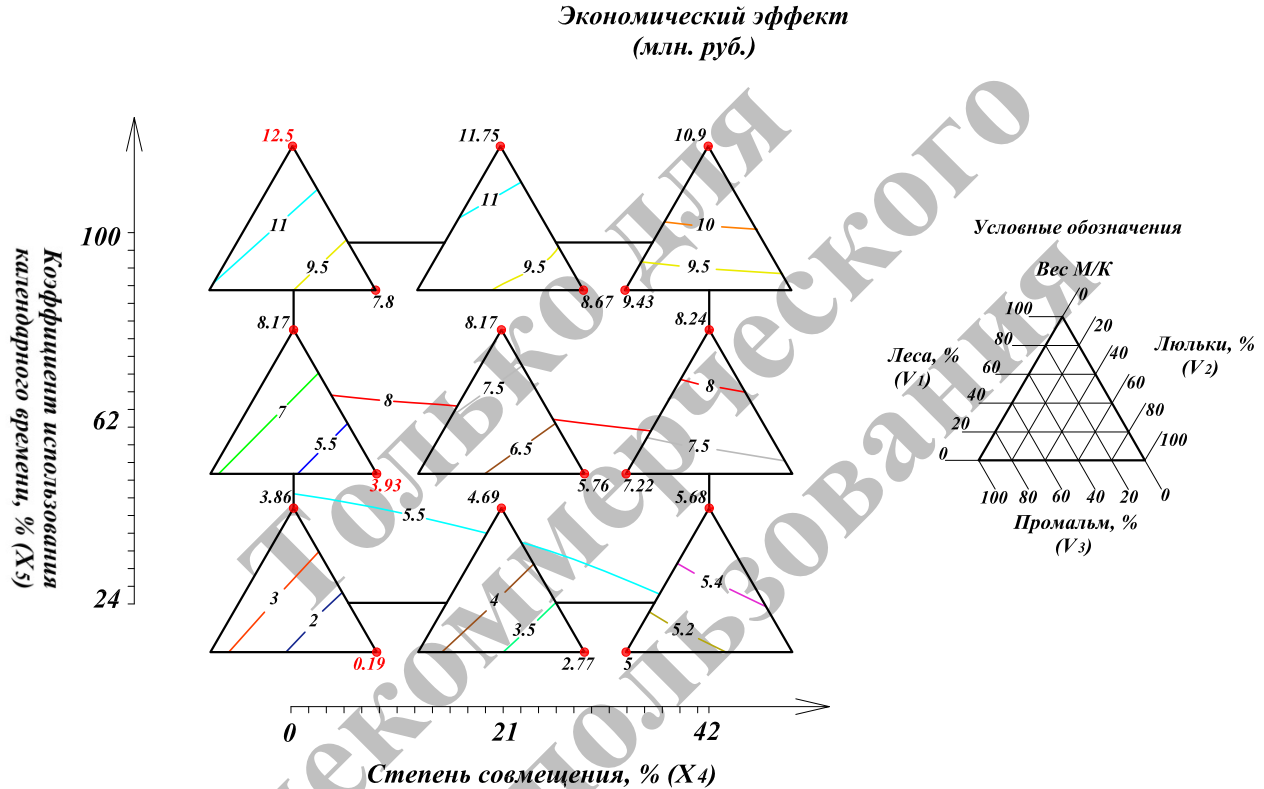


Рис. 6.32 Диаграмма зависимости показателя «экономический эффект» (млн. руб.) от исследуемых технологических факторов для девяти различных организационных схем

- При минимальной степени совмещения наименьшей эффективностью обладает технология с использованием люлек. Это объясняется тем, что при данной технологии работы по монтажу/демонтажу люлек, находящиеся на критическом пути, препятствуют сокращению продолжительности реконструкции;
- При максимальной степени совмещения наиболее эффективной с точки зрения сокращения сроков для производства работ будет технология с использованием промышленного альпинизма.

Наилучший результат по показателю «экономический эффект» ( $Y_4$ ) достигается при технологии с использованием строительных лесов, 0% совмещения работ, 100% использования календарного времени (7 рабочих дней, 3 смены, 8 часов). Значение показателя «выработка» при этом будет составлять 12,5 млн. руб.

Рассмотрим диаграмму зависимости показателя «интенсивность финансирования» ( $Y_5$ ) от факторов  $V_1$  (использование лесов),  $V_2$  (использование люлек),  $V_3$  (использование промышленного альпинизма) для девяти различных организационных схем. Она показана на [рисунке 6.33](#).

В рамках данной диаграммы функция достигает экстремумов в следующих точках:

- $Y_{5min} = 4,17$  млн. руб./мес.: ( $V_1 = 0; V_2 = 0; V_3 = 1; X_4 = -1; X_5 = -1$ );
- $Y_{5max} = 35,28$  млн. руб./мес.: ( $V_1 = 1; V_2 = 0; V_3 = 0; X_4 = +1; X_5 = +1$ ).

Характер влияния технологических факторов на показатель «интенсивность финансирования» изменяется в зависимости от уровня фактора степени совмещения. Проанализировав диаграмму, можно увидеть:

Наименьшей интенсивностью финансирования обладает технология с использованием промышленного альпинизма по отношению к другим технологическим схемам при минимальной степени совмещения работ. Это объясняется тем, что использование промышленного альпинизма по продолжительности выполнения реконструкционных работ более предпочтительно по сравнению с остальными, что влияет на значение показателя «интенсивность финансирования».

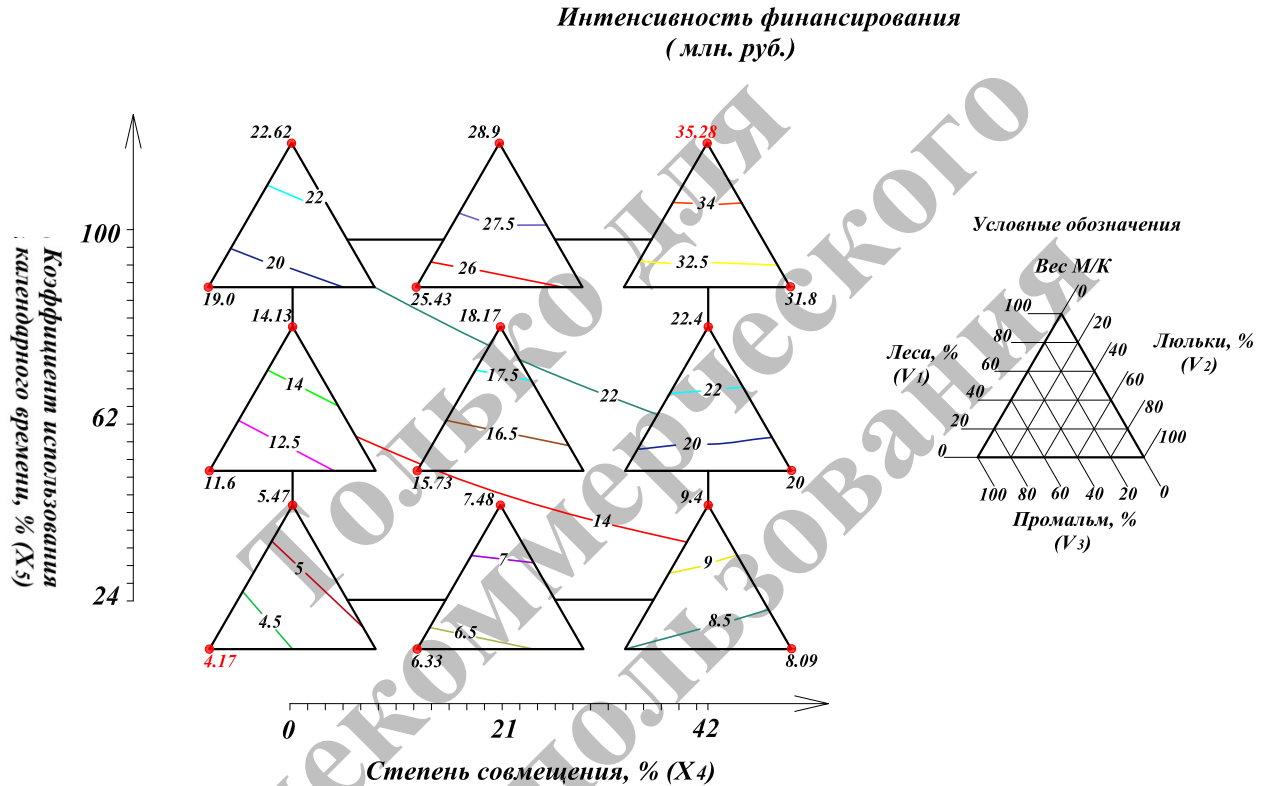


Рис. 6.33 Диаграмма зависимости показателя «интенсивность финансирования» (млн. руб./мес.) от исследуемых технологических факторов для девяти различных организационных схем



При максимальной степени совмещения работ наименьших значений показателя интенсивности финансирования можно достичь при технологии с использованием люлек или промышленного альпинизма.

Минимальный результат по показателю «интенсивность финансирования» ( $Y_5$ ) достигается при технологии с использованием промышленного альпинизма, 0% совмещения работ, 24% использования календарного времени (5 рабочих дней, 1 смены, 8 часов). Значение показателя «интенсивность финансирования» при этом будет составлять 4,17 млн. руб.

### 6.6 Решение оптимизационных задач в условиях заданных ограничений

Для решения оптимизационных задач, требующих ввода ограничений, использовались диаграммы, которые называются совмещёнными. В рамках таких диаграмм совмещены изолинии (линии одинаковых значений) нескольких показателей. Данный приём даёт возможность найти области факторного пространства, которые содержат оптимальные по нескольким критериям организационно-технологические режимы производства работ. Решим некоторые управленческие задачи, требующие ввода ограничений.

*Определение оптимального организационного решения при различных технологических режимах производства работ в условиях ограничений:*

- *длительность (ограничение – не более 200 дней);*
- *суммарные затраты (ограничение – не более 145 млн. рублей).*

Показатели «длительность» и «суммарные затраты» были выбраны для построения совмещённой диаграммы, так как являются основными для анализа инвестиционно-строительных проектов. Области допустимых значений при заданных ограничениях представлены на [рисунке 6.34](#). При ограничении по длительности ( $Y_1 \leq 200$  дн.) и суммарным затратам ( $Y_2 \leq 145$  млн. руб.) возможны две технологические схемы, при которых наблюдаются значения показателей, близкие к оптимальным. Организационные режимы, позволяющие получить искомые значения показателей, при обеих технологиях практически одинаковы.

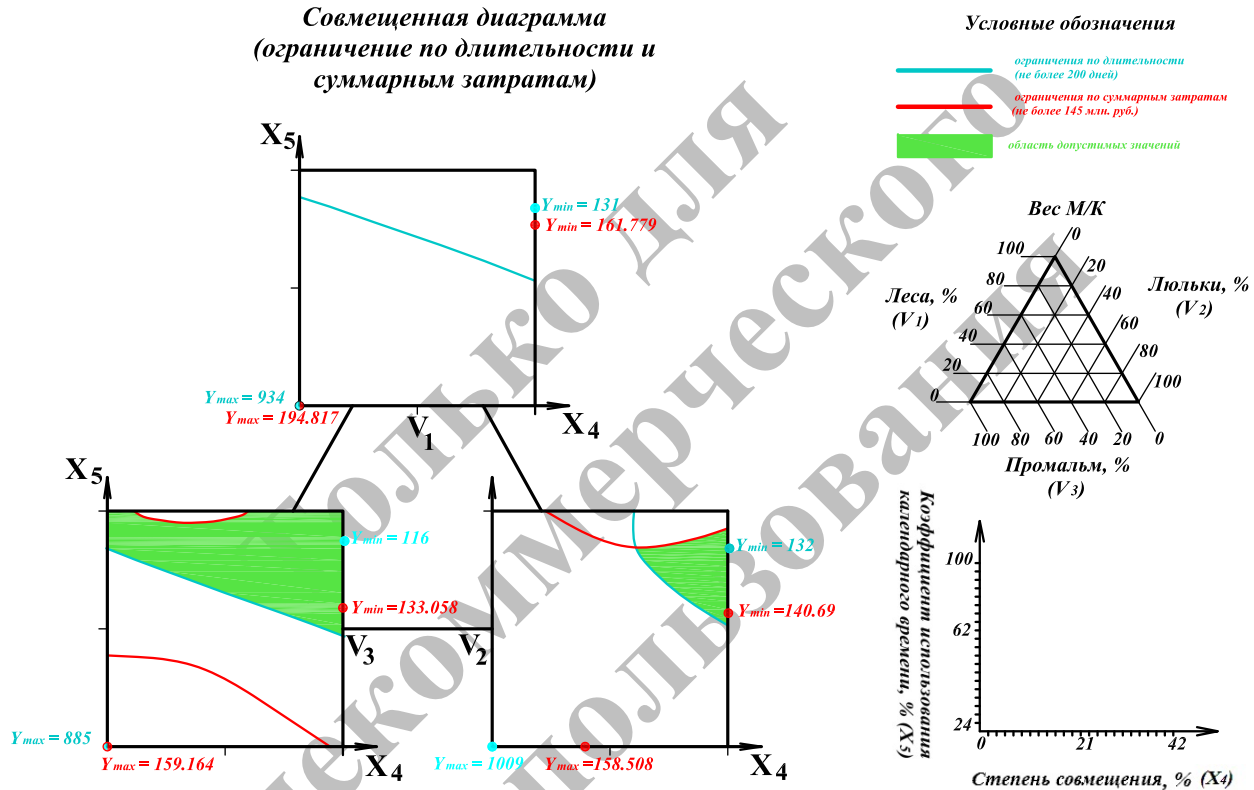


Рис. 6.34 Выбор организационных режимов реконструкции в зависимости от технологической схемы при ограничении по длительности ( $Y_1 \leq 200$  дн.) и суммарным затратам ( $Y_2 \leq 145$  млн. руб.)

Проанализировав диаграмму, можно увидеть область допустимых значений, в которой находятся минимальные значения показателей по заданным ограничениям:

- по показателю «длительность»  $Y_{1\min} = 116$  дней;
- по показателю «суммарные затраты»  $Y_{2\min} = 133,059$  млн. руб.

Можно делать вывод, что именно в этой области допустимых значений будет находиться оптимальное решение.

При выборе компромиссного решения по заданным критериям организационно-технологических режимов производства работ нужно выделить, что ведущим критерием будет значение показателя «суммарные затраты», так как диапазон изменения значений показателя «длительность» в данной области факторного пространства является незначительным с инженерной точки зрения.

Рациональным решением будет привести значение показателя «суммарные затраты» к минимуму, при этом чтобы значение показателя «длительность» находилась в пределах области допустимых значений. Поэтому компромиссное решение будет достигнуто при применении технологической схемы с использованием промышленного альпинизма, максимальном уровне фактора «степень совмещения» 42% и уровне фактора «коэффициент использования календарного времени» 81% (7 дней в 2 смены по 9 часов).

При данном решении различие значений показателей от минимальных, показанных на диаграммах без ограничений:

- значение показателя «длительность» – увеличилось на 12 дней;
- значение показателя «суммарные затраты» – увеличилось на 0,77 млн. руб.

При использовании технологической схемы с применением промышленного альпинизма значения показателей «длительность» и «суммарные затраты» минимальные. Это объясняется тем, что данная технологическая схема является наименее финансово затратной по отношению к технологическим схемам с использованием строительных лесов и люлек и позволяет максимально совмещать работы.

*Определение оптимального технологического решения при различных организационных режимах производства работ в условиях ограничений:*

- *длительность (ограничение – не более 200 дней);*
- *суммарные затраты (ограничение – не более 145 млн. рублей).*

Области допустимых значений представлены на диаграмме (см. [рис. 6.35](#)). При ограничении по длительности ( $Y_1 \leq 200$  дн.) и суммарным затратам ( $Y_2 \leq 145$  млн. руб.) возможные сочетания организационно-технологических решений можно определить в пределах выделенных областей. Проведя анализ диаграммы, можно увидеть две области допустимых значений, в которых наблюдаются значения показателей, близкие к оптимальным. В одной из этих областей находятся минимальные значения показателей по заданным ограничениям:

- по показателю «длительность»  $Y_{1\min} = 133$  дня;
- по показателю «суммарные затраты»  $Y_{2\min} = 133,8$  млн. руб.

Компромиссное решение при анализе совмещенной диаграммы будет достигнуто при применении технологической схемы с использованием промышленного альпинизма и максимальном уровне фактора «степень совмещения» 42%. Для определения уровня фактора «коэффициент использования календарного времени» требуется ввести ограничение факторного пространства по уровням организационных факторов.

В [подразделе 6.5](#) было показано, что минимальные значения показателей «длительность» и «суммарные затраты» достигаются при высоких уровнях факторов «коэффициент использования календарного времени» и «степень совмещения». Для поиска оптимального управленческого решения рассмотрим диаграмму, показанную на [рисунке 6.36](#). Она построена с учётом введения следующих ограничений по уровню факторов:  $X_4 > 21\%$ ;  $X_5 > 62\%$ .

Так, рассмотрев совмещенную диаграмму с ограничением факторного пространства, можно увидеть, что наилучшее компромиссное решение будет достигнуто при уровне фактора «коэффициент использования календарного времени» 81% (7 дней в 2 смены по 9,5 часов).

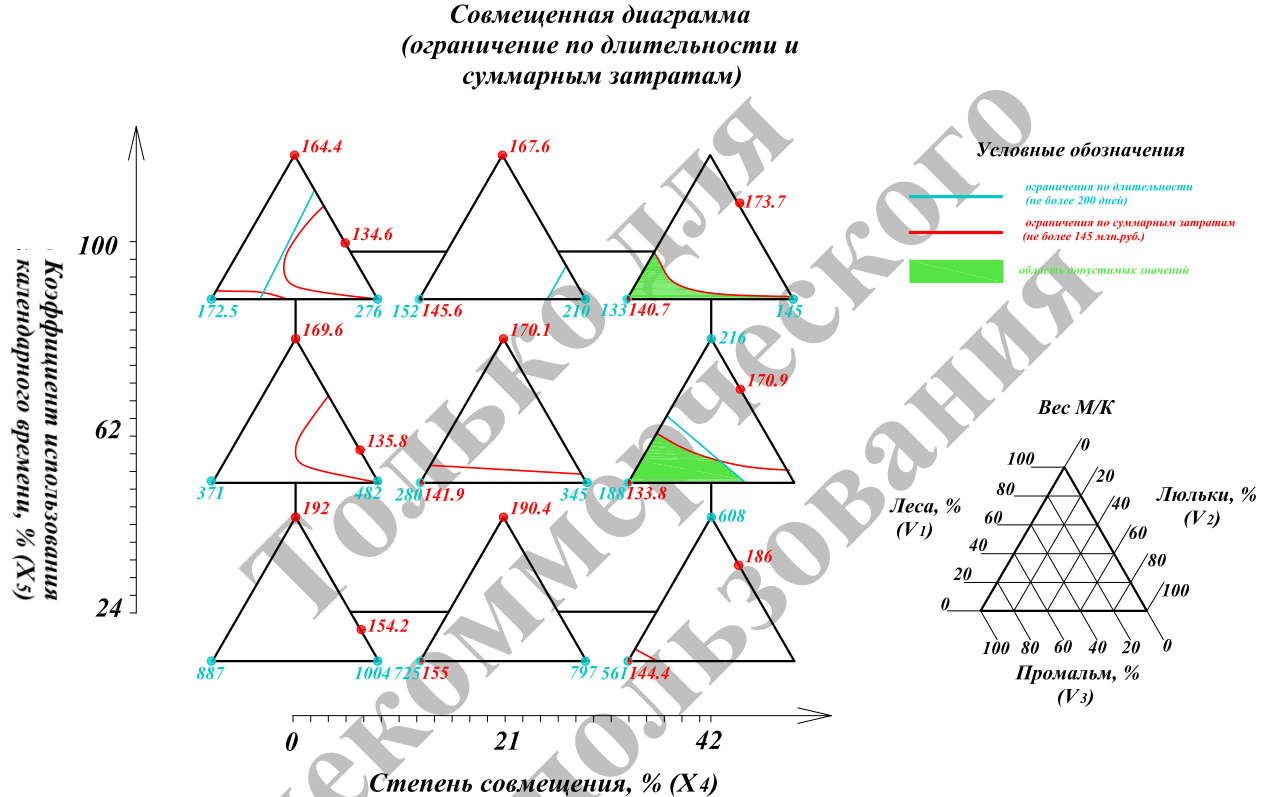


Рис. 6.35 Выбор технологических режимов реконструкции в зависимости от организационной схемы при ограничении по длительности ( $Y_1 \leq 200$  дн.) и суммарным затратам ( $Y_2 \leq 145$  млн. руб.)

Совмещенная диаграмма  
(ограничение по длительности и  
суммарным затратам)

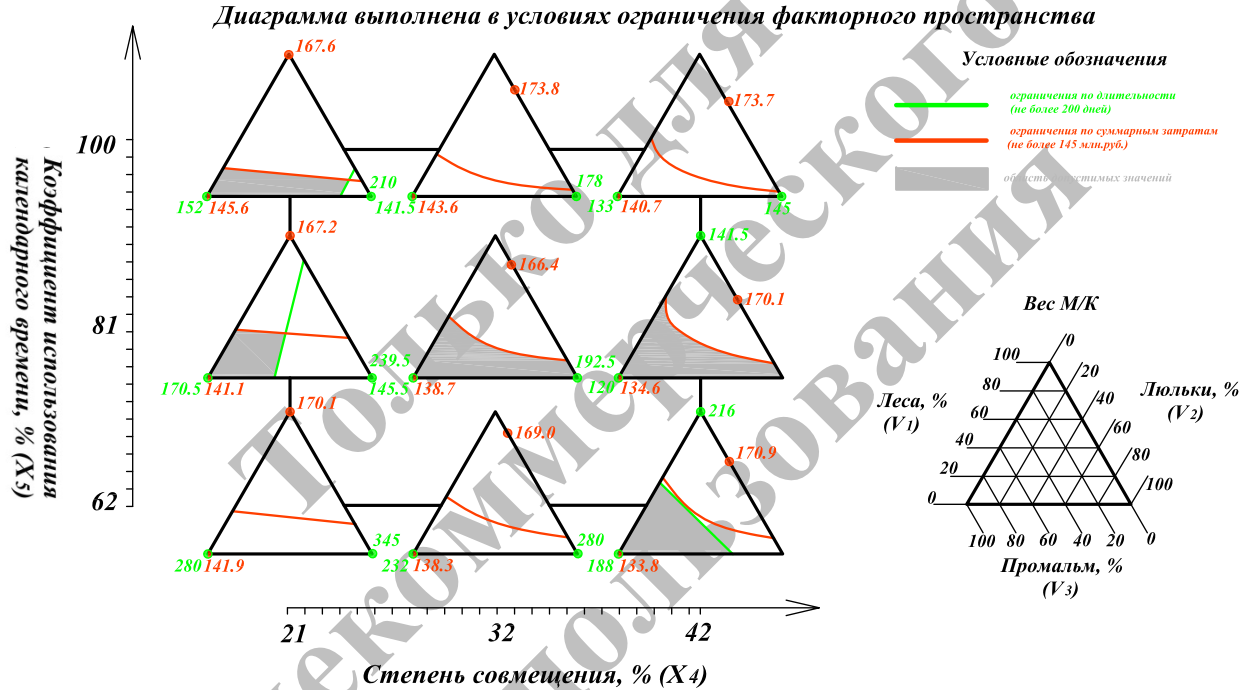


Рис. 6.36 Выбор технологических режимов реконструкции в зависимости от организационной схемы при ограничениях:  $Y_1 \leq 200$  дн.;  $Y_2 \leq 145$  млн. руб.;  $X_4 > 21\%$ ;  $X_5 > 62\%$

При данном решении различие значений показателей от предельных, определённых по диаграммам без ограничений:

- значение показателя «длительность» – сократилось на 13 дней и равно 120 дней;
- значение показателя «суммарные затраты» – увеличилось на 0,8 млн. руб. и равно 134,6 млн. руб.

Так, значения показателей «длительность» и «суммарные затраты» будут минимальными при применении промышленного альпинизма. Это объясняется тем, что данная технологическая схема является наименее финансово затратной по сравнению с технологическими схемами с использованием строительных лесов и люлек и позволяет максимально совмещать работы.

*Определение оптимального организационного решения при различных технологических режимах производства работ в условиях ограничений:*

- выработка (ограничение – не менее 1800 рублей);
- экономический эффект (ограничение – не менее 8 млн. рублей).

В экономическом смысле выработка характеризует минимальный предел рентабельности производства. При значениях выработки ниже определённых бизнес-планом, зарабатываемые в результате производства средства не смогут покрыть условно-постоянные расходы.

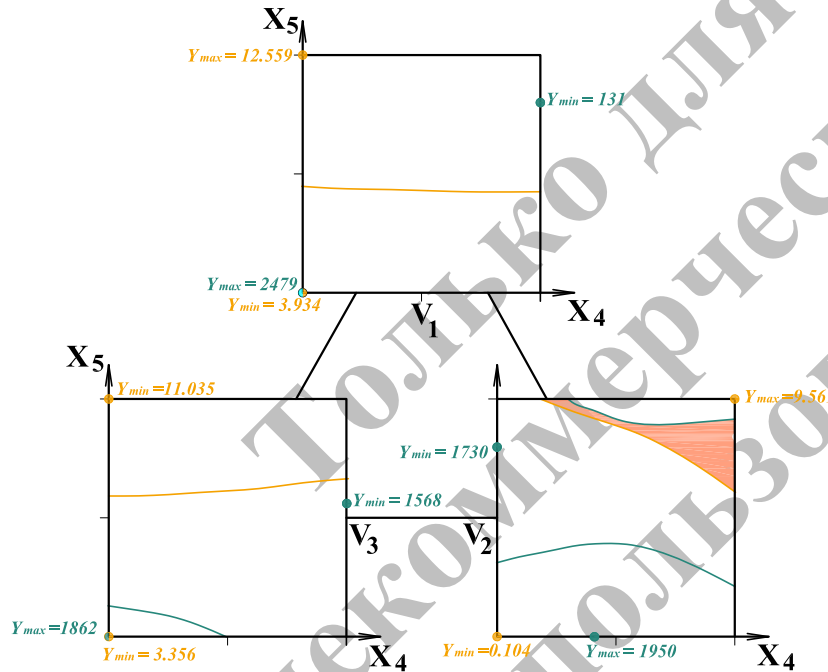
Экономический эффект косвенно характеризует управленческую гибкость технологического решения при необходимости изменять интенсивность производства в изменяющихся финансово-экономических условиях.

Области допустимых значений представлены на [рисунке 6.37](#).

При ограничении по выработке ( $Y_3 \geq 1800$  руб.) и экономическому эффекту ( $Y_4 \geq 8$  млн. руб.) возможные сочетания организационно-технологических решений можно определить в пределах выделенной области.

Рассмотрев совмещенную диаграмму, можно увидеть, что области допустимых значений сочетаний показателей возможны при применении технологической схемы с использованием люлек. Уровни факторов «степень совмещения» могут составлять 10-42% и «коэффициент использования календарного времени» 70-100%.

**Совмещенная диаграмма  
(ограничение по выработке и  
экономическому эффекту)**



**Условные обозначения**

- ограничения по выработке (не менее 1800 рублей)
- ограничения по экономическому эффекту (не менее 8 млн.руб.)
- область допустимых значений

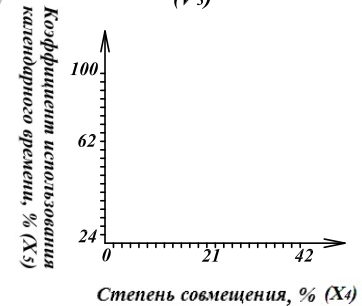
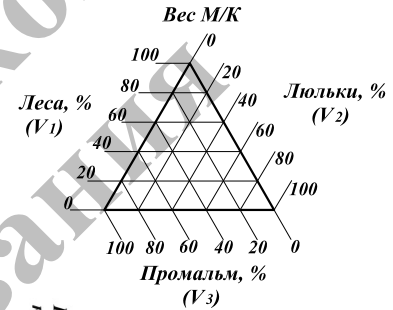


Рис. 6.37 Выбор организационных режимов реконструкции в зависимости от технологической схемы при ограничении по выработке ( $Y_3 \geq 1800$  руб.) и экономическому эффекту ( $Y_4 \geq 8$  млн. руб.)

Содержание



При анализе совмещенной диаграммы показателей «выработка» и «экономический эффект» можно увидеть, что в области допустимых значений значение показателя «выработка» минимально и составляет 1800 рублей. Поэтому при выборе наиболее выгодного компромиссного решения значение показателя «экономический эффект» должно быть максимальным в области допустимых значений.

Компромиссное решение будет достигнуто при применении технологической схемы с использованием люлек, максимальном уровне фактора «степень совмещения» 42% и уровне фактора «коэффициент использования календарного времени» 90% (7 дней в 2 смены по 10,8 часов).

При данном решении значения показателей:

- значение показателя «выработка» – 1800 рублей;
- значение показателя «экономический эффект» – 9,14 млн. руб.

Так, при использовании технологической схемы с применением люлек и заданных уровней организационных факторов, можно сказать, что реконструкция при данном значении показателя «выработка» будет вестись без денежных потерь, полностью перекрывая УНР. Значение показателя «экономический эффект» при этом составит 9,14 млн. руб.

*Определение оптимального технологического решения при различных организационных режимах производства работ в условиях ограничений:*

- *выработка (ограничение – не менее 1800 рублей);*
- *экономический эффект (ограничение – не менее 8 млн. рублей).*

Области допустимых значений представлены на [рисунке 6.38](#).

При ограничении по выработке ( $Y_3 \geq 1800$  руб.) и экономическому эффекту ( $Y_4 \geq 8$  млн. руб.) возможные сочетания организационно-технологических решений можно определить в пределах любой из выделенных областей.

Проведя анализ диаграммы, можно увидеть, что области допустимых значений показателей возможны при применении технологических схем с использованием люлек и строительных лесов при уровне фактора «коэффициент использования календарного времени» выше 62%.

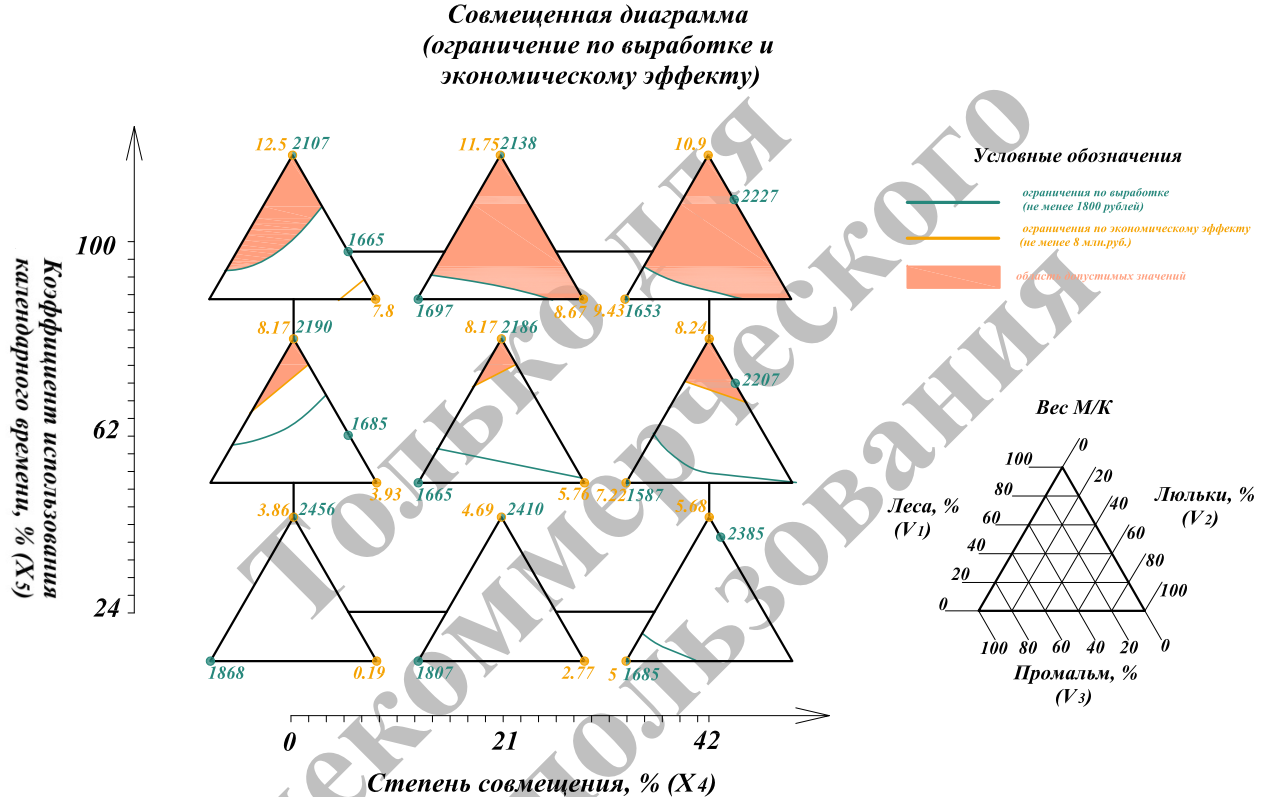


Рис. 6.38 Выбор технологических режимов реконструкции в зависимости от организационной схемы при ограничении по выработке ( $Y_3 \geq 1800$  руб.) и экономическому эффекту ( $Y_4 \geq 8$  млн. руб.)

Значение показателей изменяются в зависимости от уровня фактора «степень совмещения»: при увеличении уровня фактора «степень совмещения» значение показателя «выработка» увеличивается, но незначительно, при этом значение показателя «экономический эффект» уменьшается.

Так как значение показателя «выработка» изменяется незначительно при изменении уровня фактора «степень совмещения», то для выбора наиболее выгодного компромиссного решения нужно принять значение показателя «экономический эффект» максимальным.

Компромиссное решение будет достигнуто при применении технологической схемы с использованием лесов, минимальном уровне фактора «степень совмещения» 0% и уровне фактора «коэффициент использования календарного времени» 100% (7 дней в 3 смены по 8 часов).

При данном решении значения показателей:

- значение показателя «выработка» – 2107 рублей;
- значение показателя «экономический эффект» – 12,5 млн. руб.

Следует отметить, что из-за различного способа представления данных, оптимальные решения при анализе диаграммы типа «квадраты на треугольнике» и «треугольники на квадрате» отличаются. Поэтому для полного анализа рекомендуется использовать диаграммы обоих типов.

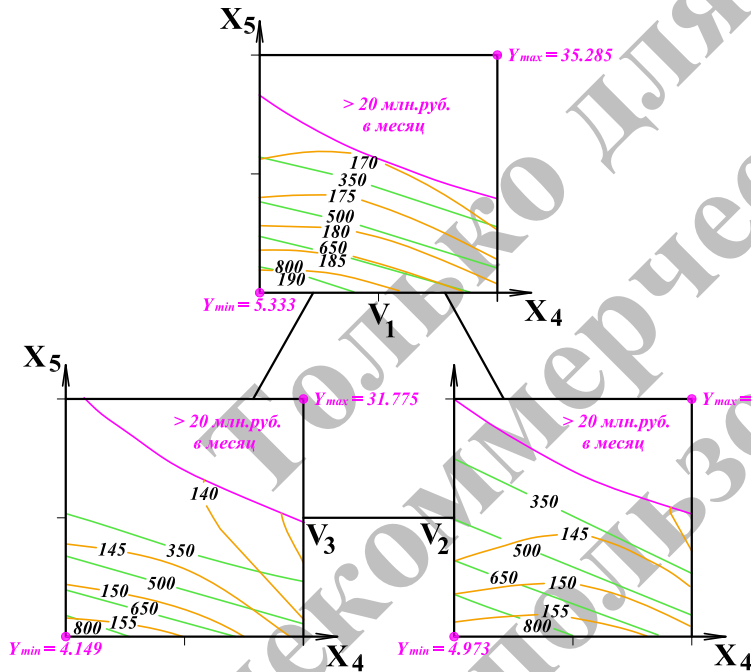
*Определение оптимального организационного решения при различных технологических режимах производства работ в условиях ограничений:*

- *интенсивность финансирования (не более 20 млн. руб./месяц);*
- *длительность;*
- *суммарные затраты.*

Показатели «длительность», «суммарные затраты» были выбраны для построения совмещенной диаграммы, так как являются основными для анализа проектов реконструкции. При этом часто существуют ограничения по уровню доступной интенсивности финансирования.

Возможные организационные решения с учётом критериев затрат и длительности можно определить в пределах любой из областей допустимых значений ([рис. 6.39](#)).

Совмещенная диаграмма  
(ограничение по интенсивности финансирования)



Условные обозначения

- изолинии показателя "длительность", дни
- изолинии показателя "суммарные затраты", млн. рублей
- ограничения по показателю "интенсивность финансирования" (не более 20 млн. рублей в месяц)

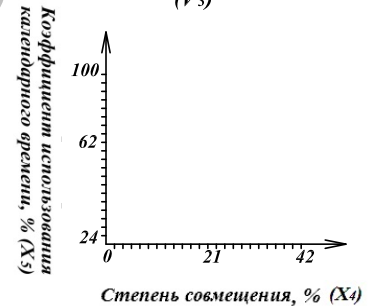
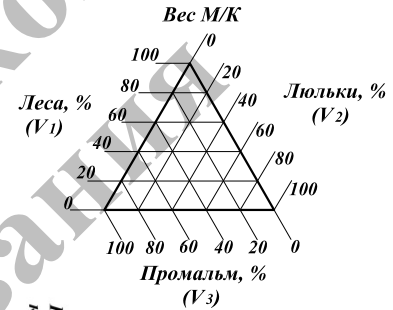


Рис. 6.39 Выбор организационных режимов реконструкции в зависимости от технологической схемы по критериям длительности и суммарных затрат при ограничении по интенсивности финансирования ( $Y_5 \leq 20$  млн. руб./мес.)

Содержание

При использовании любой технологической схемы оптимальных значений длительности и суммарных затрат можно достигнуть при двух сочетаниях организационных факторов:

1. при наибольшей степени совмещения работ и уровне коэффициента использования календарного времени, близком к 62%;
2. при степени совмещения, близкой к минимальной, и коэффициенте использования календарного времени, равном 80-100%.

Выбор в пользу первого варианта можно обосновать тем, что при выполнении работ в ночные смены стоимость на реконструкцию башни им. Шухова будет выше из-за увеличения стоимости работ в ночное время.

Так как при введении ограничения значения показателя «интенсивность финансирования» область допустимых значений достаточно большая, то ведущим критерием по определению оптимального компромиссного решения по заданным ограничениям будет показатель «суммарные затраты».

Компромиссное решение будет достигнуто при применении технологической схемы с использованием промышленного альпинизма, максимальном уровне фактора «степень совмещения» 42% и уровне фактора «коэффициент использования календарного времени» 62% (7 дней 2 смены по 8 часов).

При данном решении значение показателей:

- значение показателя «длительность» – 188 дней;
- значение показателя «суммарные затраты» – 133,14 млн. руб.;
- значение показателя «интенсивность финансирования» – 20 млн. руб./месяц.

При заданных ограничениях по уровню «интенсивности финансирования» наилучшим решением будет использование технологической схемы с применением промышленного альпинизма, при этом значения показателей «длительность» и «суммарные затраты» минимальные. Данная технологическая схема является наименее финансово затратной по сравнению с технологическими схемами с использованием строительных лесов или люлек и позволяет максимально эффективно совмещать работы.

*Определение оптимального технологического решения при различных организационных режимах производства работ в условиях ограничений:*

- *интенсивность финансирования (не более 20 млн. руб./месяц);*
- *длительность;*
- *суммарные затраты.*

Рассмотрев совмещенную диаграмму с ограничением по заданным показателям (см. [рис. 6.40](#)), можно увидеть, что области допустимых значений наблюдаются при выборе любой технологической схемы и низких уровнях фактора «коэффициент использования календарного времени» либо фактора «степень совмещения работ».

При ограничении по интенсивности финансирования ( $Y_5 \leq 20$  млн. руб./мес.) возможные допустимые сочетания организационно-технологических решений с учётом критериев затрат и длительности можно определить в пределах любой из выделенных областей.

Ведущим критерием по определению оптимального компромиссного решения по заданным ограничениям будет показатель «суммарные затраты», так как при введении ограничения значения показателя «интенсивность финансирования» область допустимых значений достаточно большая.

Так, компромиссное решение для достижения оптимума при анализе совмещенной диаграммы будет достигнуто при применении технологической схемы с использованием промышленного альпинизма, максимальном уровне фактора «степень совмещения» 42% и уровне фактора «коэффициент использования календарного времени» 62% (7 дней 2 смены по 8 часов).

При данном решении значение показателей:

- значение показателя «длительность» – 188 дней;
- значение показателя «суммарные затраты» – 133,14 млн. руб.;
- значение показателя «интенсивность финансирования» – 20 млн. руб./месяц.

Оба типа диаграмм показали одинаковое оптимальное организационно-технологическое решение.



*Определение оптимального организационного решения при различных технологических режимах производства работ в условиях ограничений:*

- *выработка (ограничение – не менее 1800 рублей);*
- *интенсивность финансирования (не более 15 млн. рублей).*

При ограничении по выработке ( $Y_3 \geq 1800$  руб.) и интенсивности финансирования ( $Y_5 \leq 15$  млн. руб.) области допустимых значений представлены на [рисунке 6.41](#). Области допустимых значений наблюдаются:

- при применении технологической схемы с использованием промышленного альпинизма, при уровнях факторов «степень совмещения» и «коэффициент использования календарного времени», близких к минимальному;
- при применении технологической схемы с использованием люлек, при коэффициенте использования календарного времени 24-50%.

На совмещенной диаграмме в области допустимых значений показатель «выработка» будет близким к минимальному в обоих вариантах. Поэтому при выборе наиболее выгодного компромиссного решения ведущим критерием будет значение показателя «интенсивность финансирования». Компромиссное решение будет достигнуто при применении технологической схемы с использованием промышленного альпинизма. При этом уровень фактора «степень совмещения» составляет 0%, а уровень фактора «коэффициент использования календарного времени» – 24% (5 дней в 1 смену по 8 часов). Это дает возможность вести реконструкцию башни им. Шухова с минимально допустимым уровнем финансирования. Значение показателей при этом будет составлять: выработка – 1862 руб.; интенсивность финансирования – 4,149 млн. руб./месяц.

*Определение оптимального технологического решения при различных организационных режимах производства работ в условиях ограничений:*

- *выработка (не менее 1800 рублей);*
- *интенсивность финансирования (не более 15 млн. рублей/месяц).*

При ограничении по выработке ( $Y_3 \geq 1800$  руб.) и интенсивности финансирования ( $Y_5 \leq 15$  млн. руб.) области допустимых значений представлены на [рисунке 6.42](#).



Совмещенная диаграмма  
(ограничение по выработке и  
интенсивности финансирования)

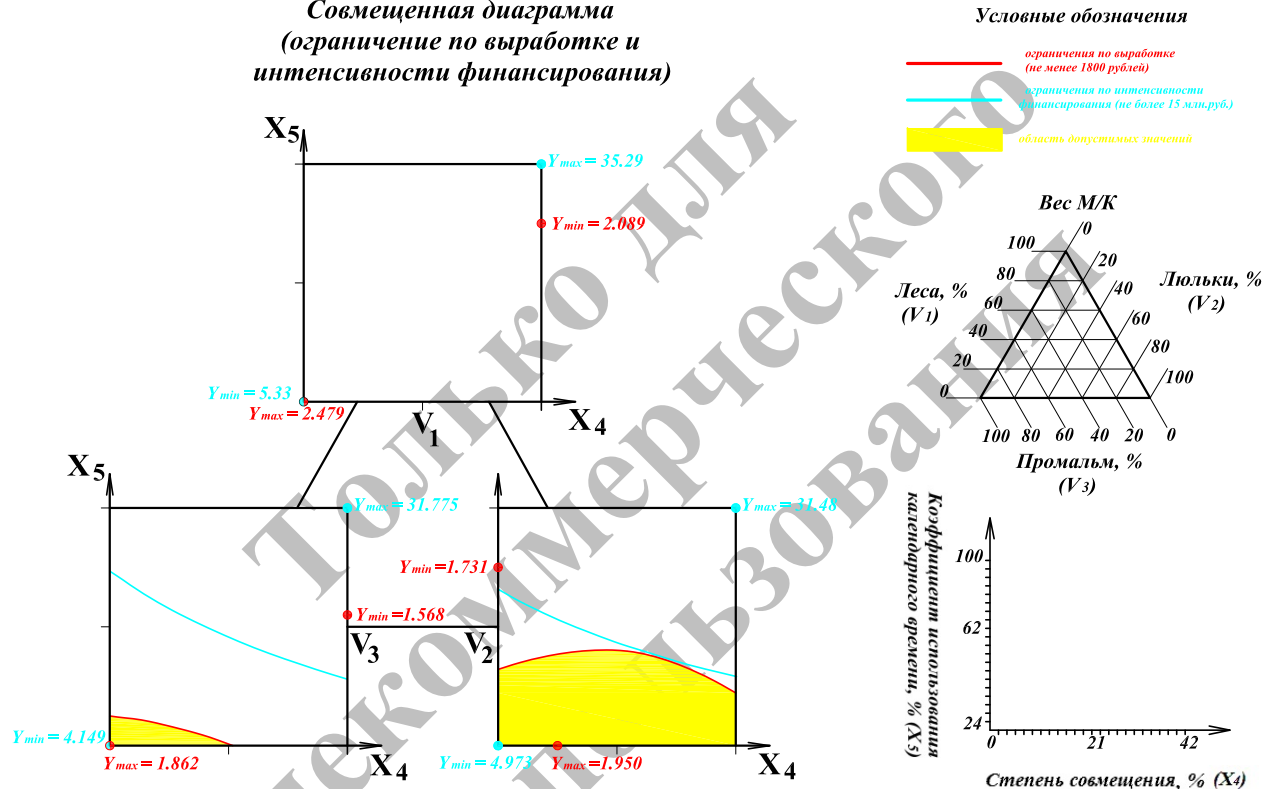


Рис. 6.41 Выбор организационных режимов реконструкции в зависимости от технологической схемы при ограничении по выработке ( $Y_3 \geq 1800$  руб.) и интенсивности финансирования ( $Y_5 \leq 15$  млн. руб.)

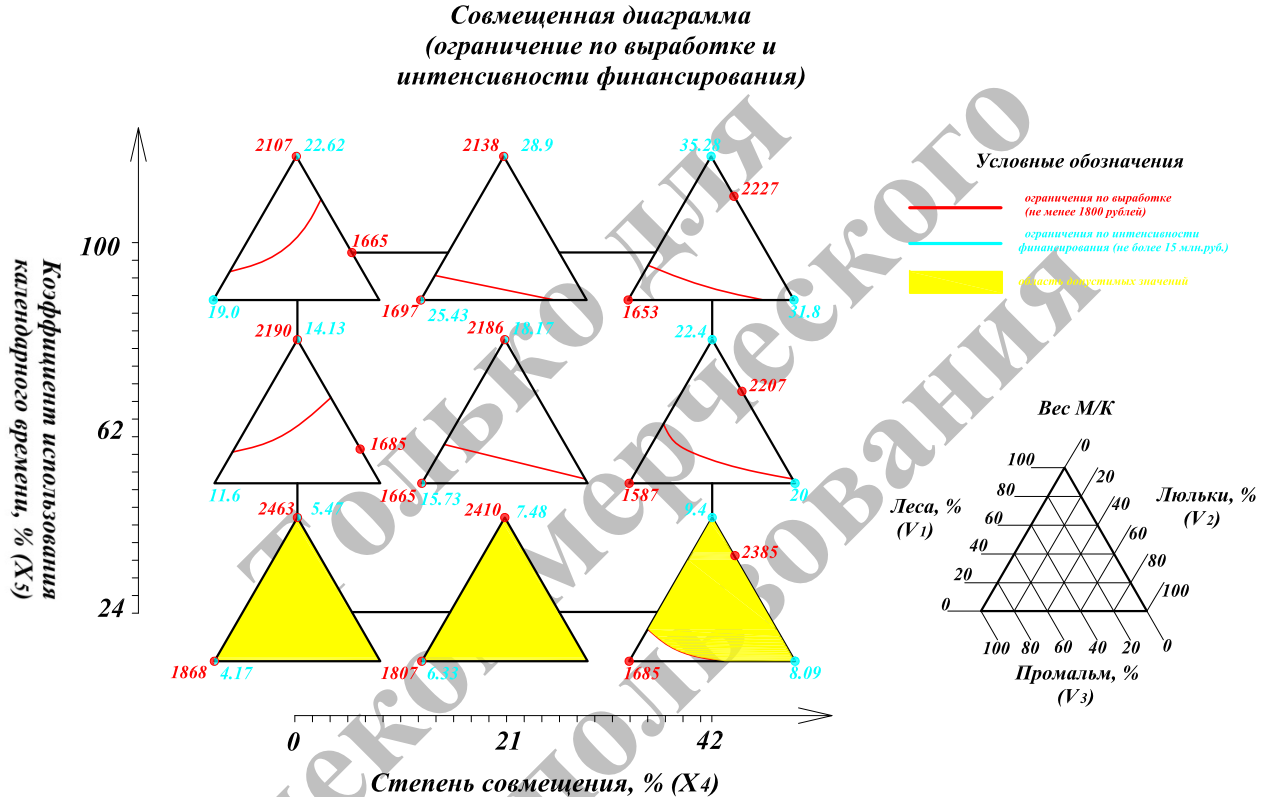


Рис. 6.42 Выбор технологических режимов реконструкции в зависимости от организационной схемы при ограничениях по выработке ( $Y_3 \geq 1800$  руб.) и интенсивности финансирования ( $Y_5 \leq 15$  млн. руб.)

Проведя анализ совмещенных диаграмм по заданным ограничениям, можно выделить область факторного пространства, которая удовлетворяет заданным критериям организационно-технологических режимов производства работ.

При минимальном уровне фактора «степень совмещения» 0% и фактора «коэффициент использования календарного времени» 24%, при применении промышленного альпинизма значение показателя «выработка» будет близким к максимальному, при этом значение показателя «интенсивность финансирования» будет минимальным.

Компромиссное решение будет достигнуто при применении технологической схемы с использованием промышленного альпинизма, уровне фактора «степень совмещения» 0% и уровне фактора «коэффициент использования календарного времени» 24% (5 дней в 1 смену по 8 часов). Значение показателей: выработка при этом будет составлять – 1868 руб.; интенсивность финансирования – 4,19 млн. руб./месяц.

## Выводы по разделу 6

1. Результаты технического обследования радиобашни им. Шухова и анализ базового проекта работ по реконструкции позволили разработать следующие технологические альтернативы реконструкции:

- реконструкция с использованием строительных лесов;
- реконструкция с использованием принципа «матрешки» и мостовых инвентарных конструкций типа МИК-С;
- реконструкция с установкой подъемных регулируемых шарнирных платформ типа «Змея» и мостовых инвентарных конструкций типа МИК-С;
- реконструкция с использованием технологии промышленного альпинизма;
- реконструкция с использованием выдвижных люлек;
- противоаварийные мероприятия с использованием временной несущей конструкции и метода поярусного поддомкрачивания («вывешивания»).

2. Разработка технологических альтернатив реконструкции высотного сооружения на примере башни Шухова показала, что наиболее важными показателями проекта реконструкции являются:

- длительность;
- суммарные затраты;
- выработка;
- экономический эффект;
- интенсивность финансирования.

Факторами, имеющими на них наиболее существенное влияние, являются следующие.

- Технологические:
  - вес металлоконструкций, реконструируемых с использованием лесов, в процентах от общего веса;
  - вес металлоконструкций, реконструируемых с использованием люлек, в процентах от общего веса;
  - вес металлоконструкций, реконструируемых с использованием промальяпа, в процентах от общего веса.
- Организационные:
  - степень совмещения работ;

- коэффициент использования календарного времени в неделю.
3. Специальный план эксперимента позволяет моделировать различные организационные режимы производства, а также использование одной или нескольких технологий в рамках одного проекта.
  4. В результате экспериментально-статистического моделирования получены закономерности изменения исследуемых показателей при различных значениях факторов.
  5. В рамках факторного пространства исследуемые показатели изменяются:
    - длительность – от 132,00 до 1 038,00 дней (в 7,86 раза);
    - суммарные затраты – от 140 028,19 до 181 467,31 тыс. руб. (на 29,6%);
    - выработка – от 1 644,77 до 2 430,51 руб. (на 47,7%);
    - экономический эффект от изменения сроков строительства – от 0,00 до 10 593,30 тыс. руб.;
    - интенсивность финансирования – от 4 179,38 до 34 843,36 тыс. руб./мес. (в 8,34 раза).
  6. Ранжирование влияния управляющих воздействий на показатели различно.
    - На длительность влияние управляющих воздействий составляет:
      - в зоне минимумов показателя: коэффициента использования календарного времени – 100,00%, степени совмещения работ – 44,77%, изменения технологической схемы – 10,44%;
      - в зоне максимумов показателя: коэффициента использования календарного времени – 100,00, степени совмещения работ – 58,25, изменения технологической схемы – 16,17%;
      - при средних значениях факторов: коэффициента использования календарного времени – 100,00%, степени совмещения работ – 66,62%, изменения технологической схемы – 24,49%.
    - На суммарные затраты влияние управляющих воздействий составляет:

- в зоне минимумов показателя: изменения технологической схемы – 100,00%, коэффициента использования календарного времени – 33,75%, степени совмещения работ – 27,87%;
  - в зоне максимумов показателя: изменения технологической схемы – 100,00%, коэффициента использования календарного времени – 75,21%, степени совмещения работ – 35,74%;
  - при средних значениях факторов: изменения технологической схемы – 100,00%, коэффициента использования календарного времени – 59,19%, степени совмещения работ – 26,04%.
- На выработку влияние управляющих воздействий составляет:
- в зоне минимумов показателя: изменения технологической схемы – 100,00%, коэффициента использования календарного времени – 24,85%, степени совмещения работ – 19,74%;
  - в зоне максимумов показателя: изменения технологической схемы – 100,00%, коэффициента использования календарного времени – 58,94%, степени совмещения работ – 25,54%;
  - при средних значениях факторов: изменения технологической схемы – 100,00%, коэффициента использования календарного времени – 38,70%, степени совмещения работ – 14,90%.
- На экономический эффект влияние управляющих воздействий составляет:
- в зоне минимумов показателя: коэффициента использования календарного времени – 100,00%, степени совмещения работ – 65,43%, изменения технологической схемы – 27,68%;
  - в зоне максимумов показателя: коэффициента использования календарного времени – 100,00%, степени совмещения работ – 48,70%, изменения технологической схемы – 13,47%;
  - при средних значениях факторов: коэффициента использования календарного времени – 100,00%, степени совмещения работ – 51,93%, изменения технологической схемы – 16,89%.
- На интенсивность финансирования влияние управляющих воздействий составляет:

- в зоне минимумов показателя: коэффициента использования календарного времени – 100,00%, степени совмещения работ – 44,37%, изменения технологической схемы – 30,21%;
  - в зоне максимумов показателя: коэффициента использования календарного времени – 100,00%, изменения технологической схемы – 54,69%, степени совмещения работ – 19,04%;
  - в центре факторного пространства: коэффициента использования календарного времени – 100,00%, изменения технологической схемы – 47,62%, степени совмещения работ – 24,98%.
7. Получение закономерностей позволяет в условиях ограничений найти оптимальные решения по нескольким критериям организационно-технологических режимов производства работ, при использовании различных сочетаний организационных и технологических схем. Например:
- При ограничении по длительности ( $Y_1 \leq 200$  дн.) и суммарным затратам ( $Y_2 \leq 145$  млн. руб.) минимальные значения показателей будут достигнуты при применении технологической схемы с использованием промышленного альпинизма, максимальном уровне фактора «степень совмещения» 42% и уровне фактора «коэффициент использования календарного времени» 81% (7 дней в 2 смены по 9 часов). Они равны: «длительность»  $Y_{1\min} = 133$  дня; «суммарные затраты»  $Y_{2\min} = 133,8$  млн. руб.
  - При ограничении по выработке ( $Y_3 \geq 1800$  руб.) и экономическому эффекту ( $Y_4 \geq 8$  млн. руб.) сочетания организационно-технологических решений оптимальны при применении технологической схемы с использованием лесов, минимальном уровне фактора «степень совмещения» 0% и уровне фактора «коэффициент использования календарного времени» 100% (7 дней в 3 смены по 8 часов). При данном решении значения показателей равны: «выработка» – 2107 рублей; «экономический эффект» – 12,5 млн. руб.
  - При ограничении по интенсивности финансирования ( $Y_5 \leq 20$  млн. руб./мес.) компромиссное решение будет достигнуто при применении технологической схемы с использованием промышленного альпинизма, максимальном уровне фактора «степень совмещения» 42% и уровне фактора «коэффициент использова-

ния календарного времени» 62% (7 дней 2 смены по 8 часов). При данном решении значение показателей равно: «длительность» – 188 дней; «суммарные затраты» – 133,14 млн. руб.; «интенсивность финансирования» – 20 млн. руб./месяц.

- При ограничении по выработке ( $Y_3 \geq 1800$  руб.) и интенсивности финансирования ( $Y_5 \leq 15$  млн. руб.) оптимальное решение будет достигнуто при применении технологической схемы с использованием промышленного альпинизма. При этом уровень фактора «степень совмещения» составляет 0%, а уровень фактора «коэффициент использования календарного времени» – 24% (5 дней в 1 смену по 8 часов). Значение показателей: выработка при этом будет составлять – 1868 руб.; интенсивность финансирования – 4,19 млн. руб./месяц.

Только для  
некоммерческого  
использования



## 7. ВИЗУАЛИЗАЦИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ АЛЬТЕРНАТИВ ПРОЕКТОВ РЕКОНСТРУКЦИИ ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СООРУЖЕНИЙ

### 7.1. Разработка алгоритма визуализации проектов реконструкции высотных инженерных сооружений с использованием программного про- дукта Synchro PRO

Принято считать, что BIM-технологии – это технологии проектирования. При этом обычно подразумевают проектирование «с нуля» новых зданий и сооружений. самого слова «проектирование» в названии информационное моделирование зданий (BIM – building informational modelling) нет. И это не случайно. Ведь информационная модель здания имеет гораздо более широкий смысл. В том числе она весьма полезна для уже существующих объектов, поскольку содержит всю (на уровне современного понимания) информацию о них. Следует лишь уметь грамотно этой информацией распорядиться.

В наиболее развитых мировых мегаполисах на сегодняшний день уже построено так много, что на первое место там выходит не создание новых, а реконструкция и реставрация имеющихся зданий и сооружений.

Эта сторона использования новой технологии почему-то малоизвестна. Но попытки применения BIM к существующим объектам начались практически одновременно с широким внедрением информационного моделирования зданий. И здесь, пожалуй, становятся еще более очевидными преимущества BIM-технологий перед традиционным проектированием. Основные из них заключаются в следующем:

- моделирование изменений в конструкции здания;
- проектирование переоснащения здания новым инженерным оборудованием, доводя его эксплуатационные характеристики до современного уровня требований;
- отслеживание текущего состояния здания (особенно важно для памятников архитектуры) и возможность своевременно принимать меры для реставрации и восстановления отдельных элементов или сооружения в целом;

- грамотное содержание эксплуатируемых объектов.

Одной из ветвей BIM-технологий является 4D-моделирование. Эта отрасль информационного моделирования показывает процесс возведения здания в виде трёхмерной модели. Причём этот процесс показывается во времени, то есть, привязан к временной шкале.

Малая изученность и низкая степень применения программного обеспечения для 4D-моделирования в строительной отрасли Украины в сочетании с её высокой информативностью определяют актуальность разработки алгоритма для 4D-моделирования строительных процессов, в частности, при реконструкции высотных инженерных сооружений. Поэтому в настоящем разделе приведён алгоритм создания 4D-моделей в программном продукте Synchro PRO. Эта программа была выбрана как наиболее эффективная для рассматриваемых задач ([подраздел 1.4](#)).

Интерфейс программы показан на [рисунке 7.1](#). Верхнее меню программы предоставляет все функции программы. Они разбиты по вкладкам: главная, вид, работа, 3D, просмотр, окна. Они разбиты по вкладкам: главная, вид, работа, 3D, просмотр, окна.

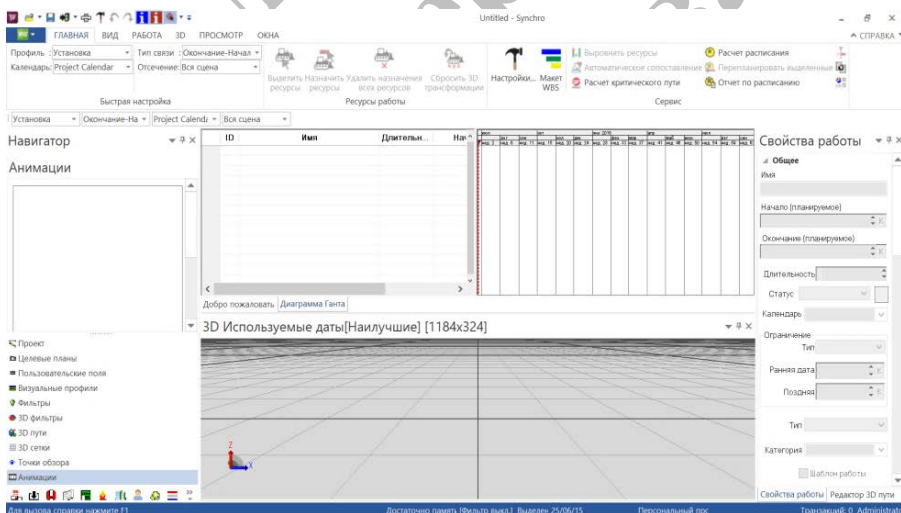


Рис. 7.1 Интерфейс программы Synchro PRO

Левое меню программы включает в себя навигатор, в котором находятся расширенные функции проекта, целевых планов, пользовательских полей, фильтров, 3D-фильтров, 3D-путей, 3D-сеток, точек обзора и анимации. Во второй вкладке левого меню располагается меню всех 3D-объектов. Правое меню программы состоит из 3-х вкладок, отвечающих за свойства работ, свойства 3D и свойства 3D-путей. Нижний интерфейс – это выюпорт, т.е. рабочая 3D-область. На ней отображены 3D-объекты, 3D-пути и весь процесс работ.

#### *Моделинг 3D-моделей.*

Построение сложных объектов в самой программе Synchro возможно, но довольно трудоемко, поэтому удобнее пользоваться профильными программами для создания таковых. С такими функциями замечательно справляется программа для построения 3D-моделей – 3D's Max Design 2015. Интерфейс данной программы показан на [рисунке 7.2](#). После создания нужной 3D-модели необходимо выбрать пункт «Файл» ► «Экспорт» ► задать имя сохраняемому объекту ► выбрать тип сохраняемого файла DWG/DXF ► поставить галочку «Выбранный объект» ► выбрать версию сохранения, например, «AutoCAD 2007 DWG» ► нажать «ОК».

#### *Импорт 3D-моделей.*

Synchro дает возможность импортирования моделей из программ для 3D-моделирования ([рис. 7.3](#)). Импортировать необходимо файлы в формате DXF или DWG.

Для того, чтобы импортировать модель, необходимо нажать на главную кнопку программы (она находится в верхнем левом углу) и выбрать кнопку «Импорт», далее нажать на 3D.

#### *Составление графика работ.*

После успешно выполненного импорта необходимо создать (или импортировать) график работ. Он находится в поле программы в верхнем меню ([рис. 7.4](#)). При создании графика в указанном меню необходимо для каждой работы заполнить поля: «ID», «Имя», «Длительность», «Начало», «Окончание». Привязку ко времени можно сделать после импорта составленного ранее графика работ в Synchro. Для построения графика можно использовать такие программы как Primavera P6, Spider Project, Microsoft Project, Asta Powerproject

## 7.1. Разработка алгоритма визуализации проектов реконструкции высотных инженерных сооружений с использованием программного продукта Synchro PRO

и т. д.. Например, для импорта графика из Microsoft Project необходимо нажать «Файл» ► «Import» ► «Microsoft Project XML». В открывшемся окне следует выбрать заранее сохранённый файл графика в формате XML.

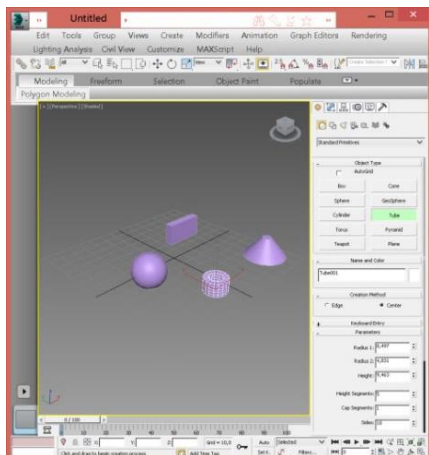


Рис. 7.2 Моделинг в 3D's Max Design 2015

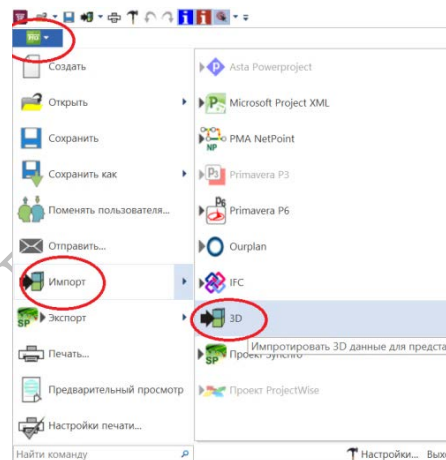


Рис. 7.3 Импорт в программе Synchro

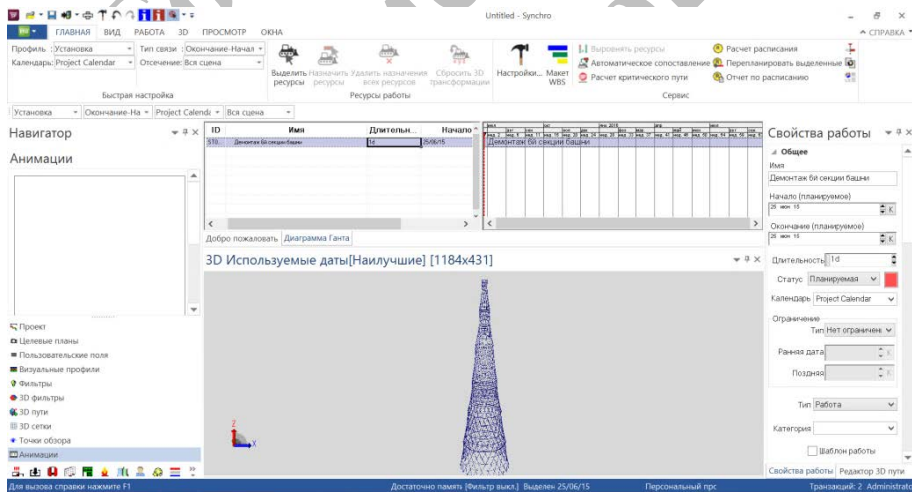


Рис. 7.4 Создание или импорт графика работ

## Содержание

### Работа с элементами.

Для визуализации какой-либо работы необходимо выбрать нужный элемент 3D-модели. Для этого следует нажать клавишу Ctrl и щелкнуть по желаемому элементу. Элемент выделится красным цветом (рис. 7.5). Это будет означать, что объект выбран и готов к использованию и работе с ним.

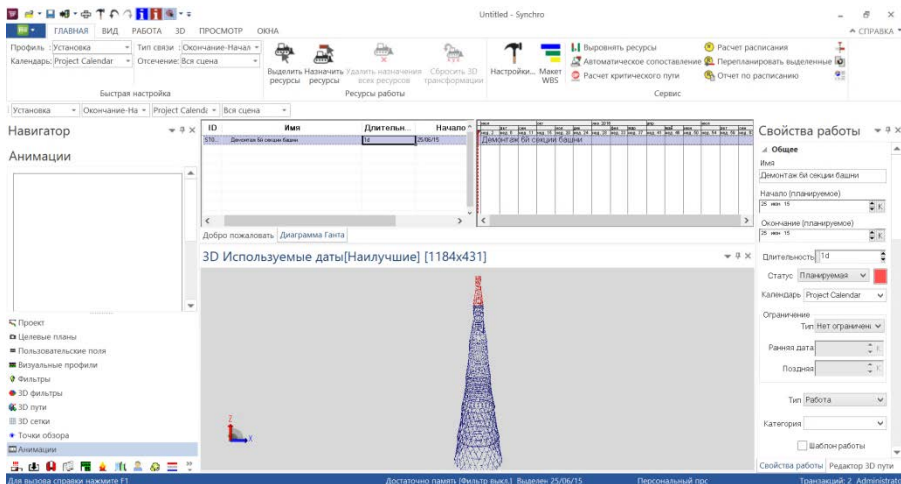


Рис. 7.5 Выделенный объект в 3D-области

### Визуальный профиль и его назначение.

Теперь нам необходимо настроить «Визуальный профиль» (рис. 7.6). Данное меню отвечает за действие, которое будет происходить с элементом.

Существует 4 основные категории «Визуального профиля»: установка, удаление, обслуживание, временное использование.

Для примера, выполним удаление элемента 3D-модели. Для этого переходим во вкладку «Визуальный профиль» и жмем правой клавишей мыши на категорию «Удаление», далее нажимаем «Добавить». Теперь необходимо выбранный «Визуальный профиль» привязать к графику работ. Чтобы это сделать, необходимо в графике работ выбрать нужную работу и нажать в области 3D на кнопку «Назначить на выделенные работы» (рис. 7.7).

В «Навигаторе», в меню «Визуальный профиль», прокрутив главный ползунок ниже, мы увидим расширенные настройки визуального профиля. Эти настройки можно условно разделить на 4 части:

1. действие, которое мы выберем (Установка, удаление и т.д.);
2. цвет и прозрачность в начале работы;
3. цвет и прозрачность во время работы;
4. цвет и прозрачность после завершения работы.

Также немаловажной функцией является пункт «Эмуляция роста» (рис. 7.8) – он задаёт, будет ли объект выполнять действие моментально или плавно.

Выбираем эмуляцию роста типа «Сверху вниз».

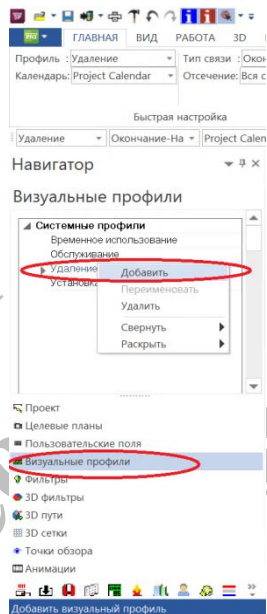


Рис. 7.6 Меню визуального профиля

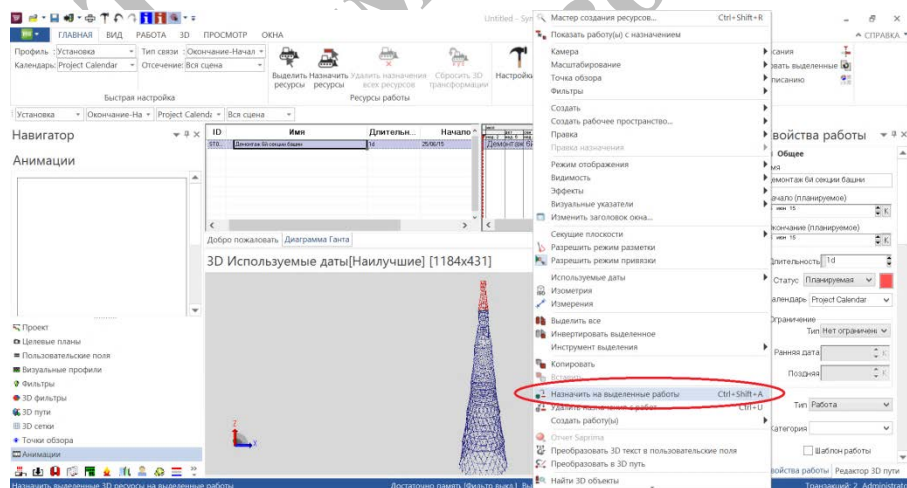


Рис. 7.7 Назначение на выделенные работы

Для некоторых работ необходимо создавать 3D-пути. 3D-путь показывает, как будет осуществляться движение объект во время работы. Создать путь можно, кликнув в меню «3D» на кнопку создания 3D-пути и просто нарисовав точки на экране. Затем эти точки в любом случае надо редактировать в «редакторе 3D-пути». Назначив объект на работу, заходим в «Свойства работы» и выбираем 3D-путь, который создали. Красные линии на [рисунке 7.9](#) – это нарисованные 3D-пути.

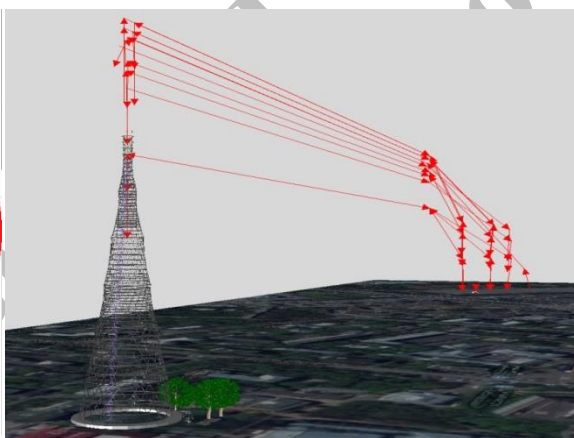
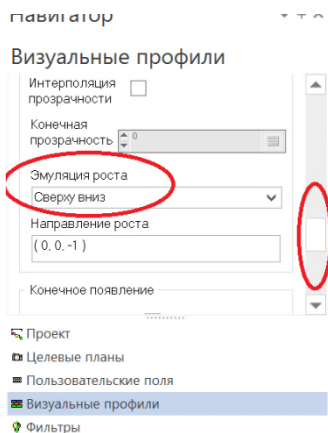


Рис. 7.8 Инструмент «Эмуляция роста»

Рис. 7.9 3D-пути

### Вывод анимации.

Для сохранения выбранной анимации необходимо в разделе «Анимация» правой кнопкой мыши нажать на пустую область и выбрать пункт «Добавить».

Выбрав созданную анимацию, требуется вызвать окно «Редактор анимации» в меню «Окна». В редакторе анимации есть две колонки: «Camera» и «Focus Time». «Camera» отвечает за положение камеры в определенном фрагменте видео. «Focus time» служит для коррекции скорости работ. Например, есть работа, которая длится 19 дней, и есть работа длительностью 4 часа, но показать их обе надо одинаково подробно.



Для начала нужно задать общую продолжительность видеоролика. Пусть это будет 5 мин. Для этого переходим в меню «Просмотр» ► выбираем «Просмотр плана» ► кнопка «Перейти к началу» ► в редакторе анимации ставим точку в начале колонки «Focus Time» ► кнопка «Перейти в конец» ► в редакторе анимации находим вариант «5 мин.» и ставим точку в колонке «Focus Time». Затем отмечаем такие точки, передвигая курсор анимации, на каждой работе в графике и подтягиваем их на нужную нам продолжительность, просто зажав левую клавишу мыши.

С камерой всё проще. Точка на колонке «Camera» означает, что в этот момент видеоролика камера находится на выбранном ракурсе в окне «3D».

После выбора ключевых точек камеры и работ необходимо нажать правой кнопкой на новую анимацию и выбрать «Экспорт AVI» (рис. 7.10).

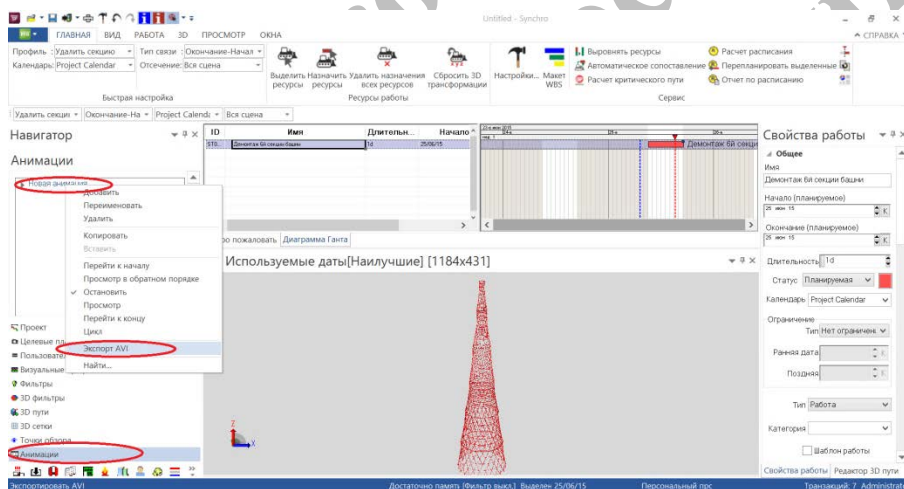


Рис. 7.10 Экспорт AVI

Чтобы экспортировать подготовленное видео необходимо в окне «Навигатор» выбрать вкладку «Анимации» ► правой кнопкой мыши по созданной анимации ► экспорт «AVI» ► указать название и определить место на жестком диске, куда будет сохранена видеозапись ► в открывшемся окне выбрать необходимые параметры видео (разрешение, частота кадров, кодировка, содержимое окна) ► кнопка «ОК»



Рендеринг (экспорт) занимает большое время. Желательно выбрать в окне экспорта команду «Нарезать по (сек.)» и поставить значение 30. В дальнейшем «нарезки» нужно соединить в любом видеоредакторе. Дело в том, что программа имеет высокие требования к мощности компьютера и сбои происходят довольно часто. На [рисунках 7.11](#) и [7.12](#) показаны окна настройки выходящего из рендера изображения и окно процесса экспорта анимации.

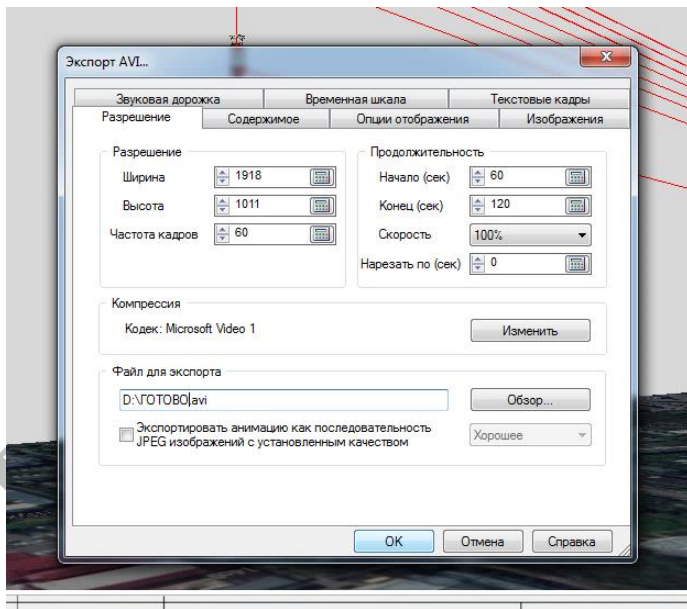


Рис. 7.11 Окно настроек выходящего изображения

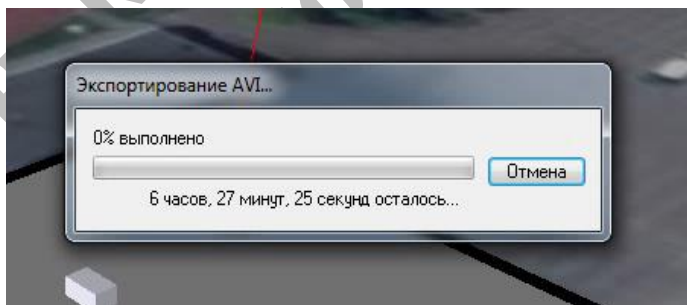


Рис. 7.12 Окно процесса экспортирования видеоролика

## 7.2 Примеры использования программного продукта Synchro PRO для визуализации технологических альтернатив проектов реконструкции высотных инженерных сооружений

В настоящем разделе приведены некоторые примеры визуализации технологических альтернатив проектов реконструкции высотных инженерных сооружений. В качестве объекта визуализации была выбрана радиобашня им. Шухова, предмет визуализации – варианты реконструкции этой башни. На основании анализа программных продуктов технологии BIM ([подраздел 1.4](#)) была выбрана программа Synchro PRO, как наиболее подходящая для решения поставленной задачи визуализации в виде 4D-модели. Разработанный в [подразделе 7.1](#) алгоритм позволил выполнить визуализацию двух технологических альтернатив реконструкции радиобашни им. Шухова:

- реконструкция с использованием мостовых инвентарных конструкций МИК-С и принципа «матрешки» – выбран для визуализации, так как метод, близкий к рассматриваемому, использовался самим Шуховым В. Г. при возведении башни;
- реконструкция с использованием временной несущей конструкции и метода поярусного поддомкрачивания – выбран по причине утверждения данной технологии как первого этапа реконструкции в качестве противоаварийных мероприятий.

Данные технологические альтернативы были подробно рассмотрены в [подразделе 6.2](#). Результаты визуализации приведены в [приложении](#).

### **Выводы по разделу 7**

1. Разработанный алгоритм позволяет визуализировать технологические альтернативы для различных проектов реконструкции высотных инженерных сооружений.
2. Выбранное программное обеспечение позволяет в полной мере осуществить задачу создания 4D-модели проекта реконструкции башни Шухова.
3. Разработка 4D-моделей организационно-технологических альтернатив реконструкции башни Шухова позволила увидеть анимацию строительных процессов, увязанных во времени, для двух вариантов реконструкции: с использованием мостовых инвентарных конструкций МИК-С и принципа «матрёшки»; с использованием временной несущей конструкции и метода поярусного поддомкрачивания.

## 8. ЭФФЕКТИВНОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ ИССЛЕДОВАНИЯ

### 8.1 Техничко-экономическая эффективность оптимизационных решений рассмотренных проектов реконструкции

Проведённые исследования показали технико-экономическую эффективность предлагаемой методики по оптимизации проектов реконструкции высотных инженерных сооружений.

Для проекта реконструкции высотного инженерного сооружения на примере Останкинской телебашни эффективность выражается в следующем.

- Предлагаемая методика позволила определить пределы изменения показателей в рамках исследуемого факторного пространства:
  - продолжительность реконструкции можно уменьшить от 3 368 до 107 дней (в 31,5 раза);
  - интенсивность финансирования изменяется от 4 669 тыс. руб. до 42 385 тыс. руб. в месяц (в 9 раз);
  - стоимость производства СМР может изменяться в пределах от 599,8 млн. руб. до 524,941 млн. руб. (на 14,3%).
- В ходе решения управленческих задач были установлены оптимальные значения показателей и уровни факторов при заданных ограничениях:
  - продолжительность выполнения СМР – 790 дней: при ограничении по интенсивности финансирования ( $Y_3 = 20$  млн. руб./мес.) и по уровню условно-постоянных расходов ( $X_4 = 700$  тыс. руб./мес.);
  - интенсивность финансирования – 11 767 тыс. руб./мес.: при ограничении по стоимости производства СМР ( $Y_2 = 550$  млн. руб.) и количеству рабочих дней в неделю ( $X_2 = 3$  дня);
  - стоимость производства СМР – 600 дней: при ограничении по продолжительности выполнения СМР ( $Y_1 = 570$  дней) и величине условно-постоянных расходов ( $X_4 = 700$  тыс. руб./мес.);
  - продолжительность выполнения СМР – 570 дней и стоимость производства СМР (524, 941 млн. руб.): при выборе оптимального организационного режима проведения работ по реконструкции.

Использование методики при оптимизации конструктивно-технологических решений проекта противоаварийных мероприятий высотного инженерного сооружения на примере радиобашни им. Шухова позволила выполнить следующее:

- Определены пределы изменения исследуемых показателей в зависимости от уровня варьируемых факторов:
  - Длительность монтажа временных несущих конструкций – может изменяться при варианте КТР1 от 316 до 73 дней; при варианте КТР2 от 269 до 63 дней.
  - Полные затраты на реализацию проекта с начислениями – могут изменяться при варианте КТР1 от 98 474,21 до 92 906,9 тыс. руб.; при варианте КТР2 от 96 673 до 90 539,65 тыс. руб.
  - Интенсивность финансирования проекта – может изменяться при варианте КТР1 от 7 160,38 до 16 285,84 тыс. руб./мес.; при варианте КТР2 – от 7 903,72 до 16 642,98 тыс. руб./мес.
- Найдены оптимальные величины показателей и уровней факторов при решении управленческих задач с заданными ограничениями:
  - длительность монтажа временных несущих конструкций (при варианте КТР1 – 88 дней; при варианте КТР2 – 76 дней): при максимально допустимой дополнительной нагрузке, равной 9 т., без учёта веса полиспастов обслуживания и грузозахватных приспособлений;
  - интенсивность финансирования проекта  $Y_3 = 10$  тыс. руб./мес.: при ограничении по количеству рабочих, занятых на монтаже ( $X_1 \leq 10$  чел.), максимальному весу укрупнённого элемента ( $X_2 \leq 7$  т.);
  - длительность монтажа временных несущих конструкций (при варианте КТР1 – 182 дня; при варианте КТР2 – 175 дней): при ограничении по интенсивности финансирования проекта ( $Y_{\text{зогр.}} \leq 10$  млн. руб./мес.), степени укрупнения монтируемых элементов колонн ( $X_1=5$  т.);
  - полные затраты на реализацию проекта с начислениями конструкций (при варианте КТР1 93,53 млн. руб.; при варианте КТР2 – 91,89 млн. руб.) при ограничениях по интенсивности финансирования ( $Y_3 \leq 13,5$  млн. руб./мес.), количеству рабочих, занятых на монтаже ( $X_1 \leq 10$  чел.).

При оптимизации организационно-технологических решений проекта реконструкции высотного инженерного сооружения на примере радиобашии им. Шухова были получены следующие результаты.

- Выявлены границы изменения исследуемых показателей в пределах рассматриваемого факторного пространства:
  - длительность – может изменяться от 1 038,00 до 132,00 дней;
  - суммарные затраты – изменяется от 181 467,31 до 140 028,19 тыс. руб. (на 29,6%);
  - выработка – изменяется от 1 644,77 до 2 430,51 руб (на 47,7%);
  - интенсивность финансирования – изменяется от 4 179,38 до 34 843,36 тыс. руб./мес. (в 8,34 раза).
  - экономический эффект – увеличивается до 10 593,30 тыс. руб.
- Определены оптимальные значения показателей в условиях введения ограничений при решении управленческих задач:
  - оптимальные величины длительности (116 дней) и суммарных затрат (133,059 млн. руб.): при поиске оптимальных значений данных показателей на совмещённой диаграмме;
  - оптимальные величины выработки (2 107 рублей) и экономического эффекта (12,5 млн. руб.): при поиске оптимальных значений данных показателей на совмещённой диаграмме;
  - оптимальные величины длительности (188 дней) и суммарных затрат (133,14 млн. руб.): при ограничении по интенсивности финансирования ( $Y_3 \leq 20$  млн. руб./месяц);
  - оптимальные величины выработки (2 463 руб.) и интенсивности финансирования (5,32 млн. руб./месяц): при поиске оптимальных значений данных показателей на совмещённой диаграмме.

## 8.2 Достоинства и перспективы развития предлагаемой методики

Предлагаемая методика оптимизации с использованием ЭС-моделирования обладает рядом преимуществ, в частности, позволяет решать следующие задачи:

- Выявление новых закономерностей изменения показателей проектов реконструкции (ПР) в виде аналитических и графических моделей.

- Количественный анализ полученных экспериментально-статистических зависимостей.
- Определение оптимальных режимов моделей реализации ПР при использовании различных сочетаний организационно-технологических и финансово-экономических схем.
- Принятие обоснованного управленческого решения о методах реализации ПР в условиях имеющихся ограничений и формализация его в виде, удобном для производства.
- Контроль за реализацией ПР и оперативная корректировка полученной модели с учётом изменений.
- Анализ и оценка реализованных стратегий для оптимизации аналогичных проектов.

Предлагаемая методика также имеет ряд недостатков, требующих устранения с целью повышения точности расчёта и корректности предлагаемых решений. Опишем данные проблемы:

- Сложность формализации технологических и финансово-экономических факторов в рамках теории ЭС-моделирования.
- Точность проведения расчётов, достаточная для инженерной оценки технических решений, может быть недостаточна для финансово-экономических исследований, а также расчётов, содержащих оценку риска.
- Высокая трудоёмкость создания экспериментальных моделей реализации проектов реконструкции (ПР) вследствие несовершенства методов использования применяемого программного обеспечения.
- Ограниченность используемых факторных планов и их неполное соответствие критериям, предъявляемым в рамках настоящей методики.

Исходя из вышеизложенного, можно определить два основных направления дальнейших исследований для совершенствования представленной методики:

- устранение недостатков предлагаемого оптимизационного расчёта и повышение точности финансовых расчётов;
- расширение области применения методики.

Определим план дальнейших исследований, учитывающий перспективные направления и корректирующий указанные недостатки.

1. Снижение трудоёмкости расчёта – путём поиска резервов при проведении оптимизационных расчётов.
2. Дополнительное изучение принципов составления и критериев оптимальности факторных планов – путём изучения специализированных источников по теме.
3. Изучение особенностей применения ЭС-моделей с более высокой или низкой степенью полинома – путём анализа специализированных информационных источников по теме и накопления опыта проведения оптимизационных расчётов с такими моделями.
4. Поиск и изучение возможностей других программных продуктов для создания экспериментальных моделей и расчёта ЭС-моделей – путём анализа специализированных источников по теме и путём их использования.
5. Определение наиболее значимых показателей и характеристик исследуемых проектов, факторов, которые оказывают влияние на них, и численных характеристик этих факторов. Это позволит применить методику к решению большего количества прикладных задач, например:
  - для оптимизации ресурсных конфликтов при совмещении проектов;
  - для расчётов, содержащих периоды выхода на точку безубыточности;
  - для расчётов, имеющих целью оценку рисков использования выбранной стратегии реализации ПР;
  - для расчётов, имеющих целью анализ и оценку завершённых ПР.
  - а также для решения других задач.



### **Выводы к разделу 8**

1. Рассматриваемая методика оптимизации организационно- и конструктивно-технологических решений проектов реконструкции высотных инженерных сооружений показала высокую технико-экономическую эффективность по различным организационным и финансовым критериям, при решении управленческих задач в условиях заданных ограничений.
2. Область применения методики может быть значительно расширена в процессе продолжения исследований, анализа результатов, соответствующей её доработки и совершенствования.

Только для  
некоммерческого  
использования

## ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1. Рассмотренные источники подтверждают, что оптимизация проектов реконструкции высотных инженерных сооружений является экономически и технически актуальной задачей. Наиболее эффективным для проведения оптимизационных исследований является применение экспериментально-статистического моделирования и использование современных программных продуктов.
2. Разработанная методика оптимизации организационных и технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений позволяет:
  - определять зависимости между исследуемыми показателями процессов реконструкции высотных инженерных сооружений и влияющими на них факторами;
  - принимать оптимальное управленческое решение по нескольким критериям сразу;
  - ранжировать факторы по степени их влияния на критерий оптимизации;
  - широко применять графический анализ;
  - решать практические задачи путём введения одного или нескольких ограничений как по уровню исследуемых факторов, так и по значению критериев оптимизации (исследуемых показателей).
3. Классификация показателей проектов реконструкции высотных инженерных сооружений, используемых в рамках настоящей методики, и факторов, имеющие на них наибольшее влияние, позволяет выбрать наиболее значимые из них и эффективно проводить оптимизацию по заданным критериям.
4. Представленные в работе результаты моделирования противоаварийных мероприятий и процессов реконструкции высотных инженерных сооружений позволили определить характер и величину изменения критериев оптимизации от величины исследуемых факторов. Рассмотренными показателями, среди прочих, являются: продолжительность, полные затраты, интенсивность финансирования, выработка, экономический эффект. В числе исследованных факторов можно выделить: количество

рабочих смен в сутки, рабочих дней в неделю, величина условно-постоянных расходов, конструктивно-технологическое решение устройства временных несущих конструкций, степень укрупнения монтируемых элементов колонн, количество рабочих, вес металлоконструкций, реконструируемых с использованием лесов, люлек, промышленного альпинизма, степень совмещения работ.

5. Представленная методика многокритериального анализа позволяет отбирать из большого количества те факторы, которые могут иметь наибольшее влияние на показатели проектов реконструкции высотных инженерных сооружений, а также определить оптимальный способ восстановления и защиты металлоконструкций при реконструкции высотного инженерного сооружения по различным критериям.
6. Представленные в работе примеры моделирования процессов реконструкции высотных инженерных сооружений позволяют находить оптимальные решения в условиях заданных ограничений.
7. Проведённый анализ BIM-технологий и программного обеспечения для 4D-моделирования, а также разработанный алгоритм использования программного продукта Synchro PRO позволяют визуализировать и оценить различные технологические альтернативы проектов реконструкции высотных инженерных сооружений.
8. Использование разработанной методики для оптимизационных расчётов процессов реконструкции Останкинской телебашни и радиобашни им. Шухова показывает её эффективность.
9. Проведённые исследования показывают достоинства и перспективы развития разработанной методики оптимизации проектов реконструкции высотных инженерных сооружений с помощью экспериментально-статистического моделирования и современных программных продуктов.

## СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

- 1 Абрамов Л.И. Организация, планирование и управление строительством / Л.И. Абрамов, Э.А. Манаенкова. – М. : Стройиздат, 1987. – 468 с.
- 2 Александров Н.И. Моделирование организации и управления решения научно-технических проблем. / Н.И. Александров, Н.И. Комков. – М. : Наука, 1988. – 216 с.
- 3 Аленичева Е. В. Организация строительства поточным методом / Аленичева Е. В. – Тамбов: Издательство ТГТУ, - 2004. – 80 с.
- 4 Афанасьев В.А. Поточная организация строительства. / В.А. Афанасьев. – СПб. : Стройиздат, 1990. – 292 с.
- 5 Базилевич Л. А. Модели и методы рационализации и проектирования организационных структур управления: Учебное пособие / Л. А. Базилевич, Д. В. Соколов, Л. К. Франева – Ленинград : Изд. ЛФЭИ, 1991. – 81 с.
- 6 Болотин С. А. Организация строительного производства / Болотин С. А., Вихров А. Н. – М. : Издательский центр «Академия», 2007. – 208 с.
- 7 Бороздин И.Г. Сетевое планирование и управление строительством. / Бороздин И.Г. – М. : Стройиздат, 1967. – 139 с.
- 8 Бродский В. З. Таблицы планов экспериментов для факторных и полиномиальных моделей / Бродский В. З., Бродский Л. И., Голикова Т. И. и др. – М. : Металлургия, 1982. – 752 с.
- 9 Будников М.С. Основы поточного строительства. / М.С. Будников, П.И. Недавний. – Киев : Госстройиздат УССР, 1961. – 415 с.
- 10 Виленский П. Л. Оценка эффективности инвестиций / Виленский П. Л., Лившиц В. Н., Смоляк С. А. – М. : Дело, 2002. – 888с.
- 11 Вознесенский В.А. Использование COMPEX-99 при моделировании параметров кривых пластической прочности цементно-полимерных композиций с фиброй КУРАЛОН / Вознесенский В.А., Довгань П.М., Ляшенко Т.В. и др. // Науч. вестник стр-ва. – Харьков : ХДТУБА ХОТВ АБУ. – 1999. – № 8. – С. 21-28.
- 12 Вознесенский В.А. Вычислительные эксперименты при оценке взаимосвязи показателей прочности, упругости и трещиностойкости водона-

- сыщенного бетона / В.А. Вознесенский, С.А. Кровяков, Т.В. Ляшенко // Гидротехнические сооружения. Морские и речные порты: Сб. науч. тр. – Одесса: ОГАСА. – 1999. – Вып. 2. – С. 11-16.
- 13 Вознесенский В.А. Компьютерное материаловедение, экспериментально-статистическое моделирование и оптимизация композиционных строительных материалов / В.А. Вознесенский // Строительство в России: Прогресс науки и техники. – М. : РИА. – 1993. – С. 97-101.
- 14 Вознесенский В.А. Оптимизация состава многокомпонентных добавок и композиты / Вознесенский В.А. – К. : Общ-во «Знание» Укр. ССР, 1981. – 20 с.
- 15 Вознесенский В.А. Принятие решений по статистическим моделям / В.А. Вознесенский, А.Ф. Ковальчук. – М. : Статистика, 1978. – 192 с.
- 16 Вознесенский В.А. Статистические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / Вознесенский В.А. – М.: Финансы и статистика, 1981. – 263с.
- 17 Вознесенский В.А. Статические методы планирования эксперимента в технико-экономических исследованиях / Вознесенский В.А. – М. : Статистика, 1974. – 192 с.
- 18 Вознесенский В. А. Численные методы решения строительно-технологических задач на ЭВМ / Вознесенский В.А., Ляшенко Т.В., Огарков Б.Л. – К. : Вища школа, 1989. – 328с.
- 19 Вознесенский В.А. ЭВМ и оптимизация композиционных материалов / В.А.Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов, И.И. Николов – К. : Будівельник, 1989. – С. 55-97.
- 20 Вознесенский В.А. Экспериментально-статистические модели и вычислительный эксперимент в реологических задачах с рецептурными факторами / В.А. Вознесенский, Т.В. Ляшенко, Я.П. Иванов // Технологич. механіка бетона: Сб. науч. тр. – Рига : РПИ. – 1986. – С.63-71.
- 21 Вознесенский В. А. Экспериментально-статистическое моделирование и оптимизация в материаловедении / В. А. Вознесенский, Т. В. Ляшенко. – К. : УДНТЗ, 1993. – 16 с.

- 22 Вознесенский В.А. Изопараметрический анализ кинетики изменения вероятностных показателей водопоглощения мелкозернистого бетона с полифункциональной добавкой / Вознесенский В.А., Коваль С. В., Ляшенко Т.В. и др. // Работоспособность строительных материалов при воздействии различных эксплуатационных факторов: Межвуз. сб. науч. тр. – Казань: КИСИ. – 1990. – С.54-60.
- 23 Волковинский И. В. Организация труда в комплексных бригадах по сетевым графикам. / И.В. Волковинский. – М. : Стройиздат, 1968. – 151 с.
- 24 Воропаев В.И. Методические рекомендации по применению и использованию сетевых моделей в строительстве. / Воропаев В.И. – М. : ЦНИИЭУС, 1990. – 150 с.
- 25 Воропаев В.И. Модели и методы календарного планирования в автоматизированных системах управления строительством. / В.И. Воропаев. – М. :Стройиздат, 1975. – 232 с.
- 26 Глухов В. В. Математические методы и модели для менеджмента(2 -е изд., испр. и доп.)/ Глухов В. В., Медников М. Д., Коробко С. Б. — СПб. : Издательство «Лань», 2005. — 528 с.
- 27 Гумба Х.М. Планирование в строительстве / Х.М. Гумба, А.А. Карпенко, А.Н. Шумейко, Ю.О. Бакрунов. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2011. – 248 стр.
- 28 Грабовый П.Г. Организация, планирование и управление строительством. / П.Г. Грабовый, Б.Б. Хрусталеv. – М. : Проспект, 2012. – 528 с.
- 29 Данилкин М.С. Технология и организация строительного производства / Данилкин М.С., Мартыненко И.А., Капралова И.А.– Ростов-на-Дону: Феникс, 2009. – 512 с.
- 30 Дикман Л. Г. Организация строительного производства / Дикман Л. Г.- М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. - 608 с.
- 31 Задгенидзе И. Г. Планирование эксперимента для исследования многокомпонентных систем / Задгенидзе И. Г. – М. : Наука, 1976. – 390 с.
- 32 Зуховицкий С.И. Математические методы сетевого планирования / С.И. Зуховицкий, И.А. Радчик – М. : Наука, 1965. – 296 с.
- 33 Игонина Л.Л. Инвестиции : учеб. пособие / Игонина Л.Л.; под ред. д-ра экон. наук, проф. В.А. Слепова. — М. : Экономист, 2005. — 478 с.

- 34 Киселёва Н. В. Инвестиционная деятельность / Киселёва Н. В., Боровикова Т. В., Захарова Г. В. и др. ; под ред. Подшиваленко Г. П. и Киселёвой Н. В. – М. : Кнорус, 2006 г. – 432 с.
- 35 Клиланд У. Стратегическое планирование в организациях / У. Клиланд - Москва: «СИРИН», 2006. -367 с.
- 36 Коссов В.В. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов и их отбору для финансирования / Коссов В.В., Лившиц В.Н., Шахназаров А.Г. [и др.] – М. : Экономика, 2000 – 421 с.
- 37 Кузнецов Б. Т. Инвестиции / Кузнецов Б. Т. М.: Юнити, 2006. – 679с.
- 38 Курочка П.И. Моделирование задач организационно-технологического проектирования. / Курочка П.И. – Воронеж : ВГАСУ, 2004. – 204 с.
- 39 Лебедев В.М. Основы производства в строительстве / Лебедев В.М. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2006. – 176 стр.
- 40 Лебедь Б.Я. Системный подход к разработке баз данных для календарного планирования строительства. / Лебедь Б.Я. – М. : Стройиздат, 1983. – 98 с.
- 41 Луцкий С.Я. Технология строительного производства. / С.Я. Луцкий, С.С. Атаев. – М. : Высш. шк., 1991. – 384 с.
- 42 Ляшенко Т.В. Использование метода Монте-Карло при анализе взаимосвязи между полями реологических показателей композиций для отделочных работ / Т.В. Ляшенко, В.А. Вознесенский, Т.И. Пищева, Я. Иванов // Вісник Одес. Даба. – Одеса: Місто майстрів. – 2001. – Вип. 3. – С. 57-64.
- 43 Маилян Л.Р. Справочник организатора строительного производства. / Хежев Т.А., Хежев Х.А., Маилян А.Л. – Ростов-на-Дону : Феникс, 2009. – 544 с.
- 44 Марковина Е. В. Инвестиции / Марковина Е. В., Мухина И. А. – М. : Флинта, 2011 г. – 120 с.
- 45 Налимов В. В. Логические основания планирования эксперимента / Налимов В. В., Голикова Т. И., 2-е изд., перераб. и доп. – М. : Металлургия, 1980. – 152 с.
- 46 Налимов В. В. Статистические методы планирования экстремальных экспериментов / Налимов В. В., Чернова Н. А. – М. : Наука, 1965. – 340 с.

- 47 Науменко И.Х. Проектирование поточной организации производства строительных работ. / Науменко И.Х. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 120 стр.
- 48 Новицкий Н.И. Организация, планирование и управление строительным производством. / Н.И. Новицкий, В.П. Пашуто. – М. : Финансы и статистика, 2007. – 576 с.
- 49 Попов Ю. Д. Методи оптимізації / Попов Ю. Д., Тюття В. І., Шевченко В. І. - К. : Абрис, 1999. – 217 с.
- 50 Плотников А. Н. Экономика отрасли (строительство) : учебное пособие / А. Н. Плотников, И. Б. Ефименко. – Москва : Вузовский учебник, 2009. – 357 с.
- 51 Серов В.М. Организация и управление в строительстве. / В.М. Серов, Н.А. Нестерова. – М. : Академия, 2008. – 432 с.
- 52 Соколов Г. К. Технология и организация строительства : учебник для студ. сред. проф. образования / Соколов Г. К. – М. : Академия, 2008. – 208 с.
- 53 Спектор М.Д. Выбор оптимальных вариантов организации и технологии строительства. / Спектор М.Д. – М. : Стройиздат, 1980. – 157 с.
- 54 Стаценко А.С. Технология и организация строительного производства. / А.С. Стаценко, А.И. Тамкович. – Минск : Высш. шк., 2002. – 435 с.
- 55 Таблицы планов эксперимента для факторных и полиномиальных моделей. Справ. изд. / Под ред. В.В. Налимова. – М. : Металлургия, 1982. – 751 с.
- 56 Товченко В.И. Модели и алгоритмы управления строительным производством. В.И. Товченко, В.С. Михайлов. – Киев : Высш. шк., 1991. – 151 с.
- 57 Туровца О.Г. Организация производства и управление предприятием. Издание 3 / Туровца О.Г. – Москва : Инфа -М, 2011. – 506 с.
- 58 Тынкевич М. А. Экономико-математические методы (исследование операций): Учеб. пособие. 3-е изд., испр. и доп. / Тынкевич М. А. – Кузбасс. гос. техн. ун-т. – Кемерово, 2011. – 222 с.
- 59 Филлипс Д. Методы анализа сетей: Пер. с англ. /Филлипс Д., Гарсиа-Диас А. — М. : Мир, 1984. — 496 с.
- 60 Финни Д. Введение в теорию планирования экспериментов / Финни Д., перевод с англ. Романовской И. Л. и Хусу А. П., под ред. Линника Ю. В.



- М. : Наука, 1970. – 281 с.
- 61 Хадонов З.М. Организация, планирование и управление строительным производством (ч. 1, ч.2). М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2009. – 688 с.
- 62 Хикс Ч. Основные принципы планирования эксперимента / Хикс Ч., перевод с англ. Голиковой Т. И., Коваленко Е. Г., Микешинной Н. Г., под ред. Налимова В. В. – М. : Мир, 1967. – 400 с.
- 63 Чернова Т. В. Экономическая статистика / Чернова Т. В. – Таганрог : изд-во ТРТУ, 1999. – 140 с.
- 64 Чернов И. С. Выбор эффективных моделей возведения жилых зданий при изменяющейся финансовой ситуации : автореф. дис. на соискание науч. степени канд. тех. наук : спец. 05.23.08 «Технология и организация промышленного и гражданского строительства» / Чернов Игорь Станиславович ; Одесская государственная академия строительства и архитектуры. - Одесса, 2013. – 20 с.
- 65 Шрейбер К.А. Технология и организация ремонтно-строительного производства. / Шрейбер К.А. – М. : Издательство Ассоциации строительных вузов, 2008. – 296 с.
- 66 Яблонский А.А. Моделирование систем управления строительными процессами. / Яблонский А.А. – М. : Изд. Ассоциации строительных вузов, 1994. – 273 с.
- 67 Лівінський О.М. Довідники будівельника / О.М. Лівінський, Соха В.Г. та ін. – К. : МП «Лєся». – 2009. – 496 с.
- 68 Vox G.E.P., Hunter W.G., Hunter J.S. Statistics for Experimenters. – John Wiley & Sons, 1978. – 667 p.
- 69 Vox G.E.P., Wilson K.G. On the experimental attainment of optimum conditions // J. of the Royal Statistical Society, B. – 1951. – V.13. – P. 1-45.
- 70 Cox D.R., Reid N. The Theory of the Design of the Experiments. – Chapman & Hall / CRC PRESS. – 336 p.
- 71 Myers R.M., Montgomery D.C. Response Surface Methodology: Process and Product Optimization Using Designed Experiments. – 2<sup>nd</sup> ed. – John Wiley & Sons, 2002. – 814 p.
- 72 18 кадров о том, как строили Останкинскую башню [Электронный ресурс] - Режим доступа к экрану: <http://bigpicture.ru/?p=297327>

- 73 В октябре начинается реконструкция Винницкой телемачты, которая уже 10 лет находится в аварийном состоянии [Электронный ресурс] /Осипчек И. - 2000.- Режим доступа к экрану: <http://fakty.ua/104492-v-oktyabre-nachinaetsya-rekonstrukciya-vinnickoj-telemachty-kotoraya-uzhe-10-let-nahoditsya-v-avarijnomo-sostoyanii>
- 74 Винницкой телевышке 1 октября 2013 года исполнилось 50 лет [Электронный ресурс] - Режим доступа к экрану: <http://vr.com.ua/news/sobitiya/vinnitskaya-televyshka-50-let.html>
- 75 Высота дымовых труб ЗаГЭС-320 метров [Электронный ресурс] - Режим доступа к экрану: <http://rost-info.com.ua/news/id3169/vysotadymovykh-trub-zates-320-metrov.html>. - Дата доступа : 20.11.2014.
- 76 Гуливеры земних сооружений [Электронный ресурс] /Машенко И. - 2001.- Режим доступа к экрану: [http://gazeta.zn.ua/CULTURE/gullivery\\_zemnyh\\_sooruzheniy.html](http://gazeta.zn.ua/CULTURE/gullivery_zemnyh_sooruzheniy.html)
- 77 Дымовая труба [Электронный ресурс] - Режим доступа к экрану: [http://www.chpp5.kharkiv.com/Rus/Excursion/truba\\_rus.shtm](http://www.chpp5.kharkiv.com/Rus/Excursion/truba_rus.shtm)
- 78 Киевская телебашня [Электронный ресурс] /Тоцкий О. - 2013.- Режим доступа к экрану: <http://tov-tob.livejournal.com/101958.html>
- 79 Монумент-скульптура «Родина-мать» [Электронный ресурс] - Режим доступа к экрану: <http://jallad.io.ua/s104008/monument-skulptura-rodina-mat>
- 80 Пожарники локализовали возгорание в тоннеле Киевской телебашни [Электронный ресурс] - Режим доступа к экрану: <http://odnako.su/news/ukraine/-74155-pojarniki-lokalizovali-vozgoranie-v-tonnele-kievskoy-telebashni/>
- 81 Список самых высоких зданий и сооружений Украины [Электронный ресурс] - Режим доступа к экрану: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Список\\_самых\\_высоких\\_зданий\\_и\\_сооружений\\_Украины](https://ru.wikipedia.org/wiki/Список_самых_высоких_зданий_и_сооружений_Украины)
- 82 Телевизионная мачта (Винница) [Электронный ресурс] - Режим доступа к экрану: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Телевизионная\\_мачта\\_\(Винница\)](https://ru.wikipedia.org/wiki/Телевизионная_мачта_(Винница))
- 83 Хан-Магомедов С. Архитектура советского авангарда / [Электронный ресурс] - Режим доступа к экрану: [http://www.alyoshin.ru/Files/publika/khan\\_archi/khan\\_archi\\_1\\_014.html](http://www.alyoshin.ru/Files/publika/khan_archi/khan_archi_1_014.html)
- 84 Шуховская башня [Электронный ресурс] - Режим доступа к экрану: [https://ru.wikipedia.org/wiki/Шуховская\\_башня](https://ru.wikipedia.org/wiki/Шуховская_башня)

## СПИСОК ПРИЛОЖЕНИЙ

ПРИЛОЖЕНИЕ А (иллюстрации)

<https://cloud.mail.ru/public/ErtW/bxeBhtRMp>

ПРИЛОЖЕНИЕ Б (календарные графики работ по реконструкции Останкинской телебашни)

<https://cloud.mail.ru/public/KxgW/2RusYwtUi>

ПРИЛОЖЕНИЕ В (календарные графики работ по противоаварийным мероприятиям на радиобашне Шухова)

<https://cloud.mail.ru/public/GZGc/oge82k5be>

ПРИЛОЖЕНИЕ Г (календарные графики работ по реконструкции радиобашни Шухова)

<https://cloud.mail.ru/public/ArPD/VP6V2fNya>

ПРИЛОЖЕНИЕ Д

Визуализация технологических альтернатив противоаварийных мероприятий радиобашни им. Шухова (метод регулируемого вывешивания)

<https://cloud.mail.ru/public/eQiE/vuNdHb3GP>

Визуализация технологических альтернатив реконструкции радиобашни им. Шухова (метод телескопического демонтажа)

<https://cloud.mail.ru/public/BLdK/RKbO6gkKi>

**Только для  
Некоммерческого  
использования**

А. И. Меньлюк, М. Н. Ершов,  
А. Л. Никифоров, И. А. Меньлюк

ОПТИМИЗАЦИЯ ОРГАНИЗАЦИОННО-  
ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ РЕШЕНИЙ РЕКОНСТРУКЦИИ  
ВЫСОТНЫХ ИНЖЕНЕРНЫХ СОРУЖЕНИЙ

Тільки для  
Некомерційного  
використання

Підписано до друку 07.10.2016 р.

Формат 60x84/16. Папір офс. Друк офс. Ум. друк арк. 19,3

Гарнітура Times New Roman. Наклад: 300 прим.,

Замовлення № 07/10/16

Видавець: ТОВ «НВП «Інтерсервіс»

М. Київ, вул. Бориспільська, 9,

Свідоцтво серія ДК № 3534 від 24.07.2009 р.

Виготовлювач: Типографія «Айс Принт»

Тел: +38 (099) 192-00-33,+38 (048) 706-92-82

Site: [www.ice-print.com.ua](http://www.ice-print.com.ua)

E-mail: [info@ice-print.com.ua](mailto:info@ice-print.com.ua)

В серию  
«СОВРЕМЕННОЕ СТРОИТЕЛЬСТВО»  
входят:

- «Современные технологии в строительстве» – учебник
- «Современные технологии устройства кровель» – учебное пособие
- «Современные фасадные системы» – учебное пособие
- «Современные технологии устройства и ремонта полов» – учебное пособие
- «Современные технологии внутренней отделки помещений» – учебное пособие
- «Современные бестраншейные технологии» – учебное пособие
- «Современные строительные конструктивно-технологические решения» – учебное пособие
- «Оптимизация организационно-технологических решений реконструкции высотных инженерных сооружений» – монография