

ФЕДЕРАЛЬНОЕ ГОСУДАРСТВЕННОЕ БЮДЖЕТНОЕ ОБРАЗОВАТЕЛЬНОЕ  
УЧРЕЖДЕНИЕ ВЫСШЕГО ПРОФЕССИОНАЛЬНОГО ОБРАЗОВАНИЯ  
«САНКТ-ПЕТЕРБУРГСКИЙ ГОСУДАРСТВЕННЫЙ  
АРХИТЕКТУРНО-СТРОИТЕЛЬНЫЙ УНИВЕРСИТЕТ»

*На правах рукописи*

**РОМАНОВИЧ МАРИНА АЛЕКСАНДРОВНА**

**ПОВЫШЕНИЕ ОРГАНИЗАЦИОННО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ  
НАДЕЖНОСТИ МОНОЛИТНОГО ДОМОСТРОЕНИЯ НА ОСНОВЕ  
МОДЕЛИРОВАНИЯ ПАРАМЕТРОВ КАЛЕНДАРНОГО ПЛАНА**

**05.23.08 – Технология и организация строительства**

**Диссертация на соискание ученой степени  
кандидата технических наук**

Научный руководитель:  
к.т.н., доцент  
Симанкина Т. Л.

**Санкт-Петербург**

**2015**

## ОГЛАВЛЕНИЕ

Введение.....	4
<b>Глава 1. Анализ современных методов повышения организационно-технологической надежности строительства.....</b>	<b>10</b>
1.1. Факторы, влияющие на организационно-технологическую надежность строительства.....	10
1.2. Анализ подходов к модернизации системы профессиональной квалификации в строительстве.....	21
1.3. Рассмотрение современных математических моделей для прогнозирования и оптимизации производственных процессов.....	29
Выводы по первой главе.....	44
<b>Глава 2. Определение эффективности технологических процессов монолитного домостроения .....</b>	<b>45</b>
2.1. Исследование организации труда рабочих на примере монолитного домостроения.....	45
2.2. Ресурсная оптимизация строительных потоков на основе математического моделирования квалификации рабочих .....	58
2.3. Определение эффективности применения интегрального показателя квалификации строительных рабочих при различных методах расчета.....	66
Выводы по второй главе.....	72
<b>Глава 3. Разработка математических моделей для повышения организационно-технологической надежности строительства .....</b>	<b>73</b>
3.1. Выявление зависимости между основными параметрами строительного процесса.....	73
3.2. Анализ спектров изменения средних объемов работ.....	93
3.3. Исследование и моделирование локальных особенностей функции изменения средних объемов работ с помощью вейвлет-анализа.....	112
Выводы по третьей главе.....	128

<b>Глава 4. Разработка методики прогнозирования и управления производственным процессом на основе математического моделирования объемов работ.....</b>	<b>130</b>
4.1. Инструментальное обеспечение методики.....	130
4.2 Календарное планирование строительства на основе разработанной методики прогнозирования и управления производственным процессом.....	139
Выводы по четвертой главе.....	148
Заключение.....	149
Список литературы.....	151
Приложения.....	167
Приложение А. Расчет объемов работ и их трудоемкостей.....	167
Приложение Б. Графики движения рабочих.....	170
Приложение В. Графики заливки бетона на объекте А.....	171
Приложение Г. Графики заливки бетона на объекте Б.....	176
Приложение Д. Листинг программы-макроста для реализации методики формирования качественного и количественного состава бригады.....	181
Приложение Е. Акт о внедрении ООО Строительной компании «ЭТС» от 26.05.2015 №OVP-0631.....	193
Приложение Ж. Акт о внедрении ЗАО «ЛенСпецСму-Реконструкция» от 01.06.2015.....	194

## Введение

*Актуальность исследования.* Строительство представляет собой сложную систему, значения параметров которой постоянно изменяются во времени и зависят от огромного количества факторов. Успешная реализация строительного проекта заключается в достижении поставленных целей: завершение строительства в срок, выполнение запланированных объемов работ, оптимальное ресурсораспределение, получение качественной строительной продукции. В настоящее время вопрос качества строительной продукции является приоритетным, о чем свидетельствует ежегодная статистика Службы государственного строительного надзора и экспертизы о дефектах и нарушениях, выявленных во время строительства и после его завершения. Важной проблемой является и дефицит квалифицированных рабочих кадров. Решение данного вопроса на сегодняшний день ведется с помощью разработки и внедрения в строительную сферу профессиональных стандартов, методические основы разработки которых были утверждены Президентом и Правительством Российской Федерации.

Организационно-технологическая надежность строительства, в том числе и монолитного домостроения, определяет способность строительной организации достигать поставленных целей при заданных входных параметрах, в частности, количественного и квалификационного уровня рабочих в бригаде, исправной работы машин и механизмов, качества производства работ и качества строительных материалов, а также своевременности их поставки на строительную площадку, и пр. Необходимый уровень организационно-технологической надежности достигается путем учета и контроля изменений, происходящих со всеми параметрами календарного плана и его корректировки в зависимости от этих изменений. Причины, влияющие на изменение параметров календарного плана, могут быть как внутренними, связанными с организацией работы, ошибками в проектных решениях, так и внешними, например, неблагоприятные природно-климатические условия, которые практически невозможно заранее



прогнозировать. Изменения, происходящие в процессе строительства, например, дефицит рабочих в определенный период времени, или неисправность машин и механизмов, могут существенно повлиять на возможность достижения поставленных целей, что в итоге может привести к увеличению срока строительства и снизить качество строительной продукции. Поэтому разработка методов своевременного диагностирования и прогнозирования критических изменений, происходящих с параметрами календарного плана строительства, а также минимизация или полное исключение критических изменений (отклонений), является важной задачей снижения рисков строительства и повышения его организационно-технологической надежности.

Изучение параметров календарного плана базируется, как правило, на статистических сведениях о строительстве. Поскольку параметры изменяются во времени, целесообразно их изучение с помощью временных рядов. Поэтому, исследование временных рядов является актуальной задачей анализа и прогнозирования динамики изменения параметров календарного плана строительства в целом, и монолитного домостроения, в частности.

***Степень разработанности темы исследования.*** Вопросами календарного планирования и повышения организационно-технологической надежности строительства занимались многие ученые, среди которых: В. А. Афанасьев, Г. М. Бадьин, С. А. Баркалов, С. А. Болотин, А. В. Гинзбург, П. Г. Грабовый, А. А. Гусаков, Л. Г. Дикман, П. А. Козин, П. Н. Курочка, А. А. Лapidус, В. Я. Мищенко, Ю. П. Панибратов, Б. И. Петраков, В. В. Пешков, А. Ф. Шклярков и др. Теоретическим и практическим вопросам исследования временных рядов с помощью различных математических аппаратов посвящены труды Юкио Сато, Э. Айфичера, У. Кестера, И. Добеши, Роби Поликара, Н. М. Астафьевой, Н. К. Смоленцева, А. П. Петухова, А. Н. Яковлева и др.

***Цель исследования*** заключается в повышении организационно-технологической надежности монолитного домостроения путем комплексного анализа внешних и внутренних факторов, воздействующих на ход работ, и разработки методики прогнозирования и управления процессом строительства.

**Задачи исследования:**

- провести анализ современных методов повышения организационно-технологической надежности строительства с выявлением факторов, влияющих на нее;
- провести сбор статистических сведений о строительстве объекта, в частности, о численности рабочих, продолжительности строительства и объемах выполняемых работ, на примере монолитного домостроения, с целью определения значений ежедневной выработки;
- исследовать зависимость параметров строительства с помощью различных математических моделей;
- разработать математическую модель оценки квалификационных навыков рабочего, с учетом его возраста, образования, опыта работы в строительстве, разряда, освоенных профессий;
- определить эффективность применения интегрального показателя квалификации рабочих при различных методах расчета;
- выполнить календарное планирование строительства на основе методики прогнозирования и управления процессом строительства при математическом моделировании объемов работ.

**Объект исследования** – организационно-технологическая надежность строительных процессов в монолитном домостроении.

**Предмет исследования** – влияние внешних и внутренних факторов на строительные процессы в монолитном домостроении.

**Научная новизна исследования** заключается в достижении следующих конкретных результатов:

1. Разработана методика повышения организационно-технологической надежности строительных процессов в монолитном домостроении на основе математического моделирования параметров календарного плана с учетом периодичности проявления различных факторов.

2. Введен интегральный статистический показатель квалификации рабочих, отражающий индивидуальные оценки каждого рабочего: от теоретических знаний до практических навыков в строительной области.

3. Разработан алгоритм усовершенствования календарного планирования путем исключения критических отклонений функции изменения средних объемов монолитных работ, возникающих вследствие воздействия внешних и внутренних факторов на ход строительства.

4. На основе математических моделей определены основные связи между параметрами календарного плана строительства, учитывающие зависимость ежедневной выработки от количества рабочих.

5. На основе методики прогнозирования и управления процессом строительства с учетом периодичности выявления его характеристик рассмотрен пример календарного планирования.

**Теоретическая значимость** в том, что результаты работы, в основе которой лежат математические модели: учета влияния внешних и внутренних факторов на ход строительства, оценки квалификации строительных рабочих, могут быть применены для оптимизации календарного планирования при монолитном домостроении.

**Практическая значимость** диссертационного исследования заключается в разработке программно-методических положений, определяющих повышение организационно-технологической надежности монолитного домостроения путем проведения следующих мероприятий: сбора и обработки статистических данных о строительстве на примере выполнения монолитных работ, комплексного анализа и установления зависимостей и закономерностей, совершенствовании календарного планирования с учетом полученных расчетных и аналитических данных.

**Методология и методы исследования.** В работе использовались методы повышения организационно-технологической надежности строительства, включающие в себя методы математического моделирования, натурных наблюдений (определение объема выполненных работ определенным

количеством рабочих и строительных машин), анализ отчетных документов строительной организации, в том числе таблицей учета рабочего времени, документов об объемах забетонированных конструкций. В частности, в диссертационной работе использованы методы календарного планирования и математической статистики, применяемые для комплексной оценки взаимосвязи параметров строительства и прогнозирования их изменения. Методы анализа с помощью преобразования Фурье, дискретного и непрерывного вейвлет-преобразований были использованы при определении периодичности и степени воздействия на ход строительства внешних и внутренних факторов.

***Положения, выносимые на защиту:***

- методика повышения организационно-технологической надежности строительных процессов на основе математического моделирования параметров календарного плана;
- интегральный статистический показатель квалификации рабочих;
- алгоритм усовершенствования календарного планирования путем исключения критических отклонений функции изменения средних объемов монолитных работ;
- математические модели зависимостей параметров календарного плана строительства;
- пример календарного планирования на основе методики прогнозирования и управления процессом строительства с учетом периодичности выявления его характеристик.

***Область исследования*** соответствует паспорту научной специальности 05.23.08 «Технология и организация строительства», а именно п.1 «Прогнозирование и оптимизация параметров технологических процессов и систем организации строительства и его производственной базы, повышение организационно-технологической надежности строительства», п. 10 «Разработка и оптимизация форм управления строительным производством; обоснование и выбор рациональных организационных структур и методов управления в

строительстве; развитие информационных технологий организации и управления строительством».

*Достоверность научных результатов* базируется на использовании обоснованных исследований современных российских и зарубежных ученых, на анализе статистических данных о строительном процессе с помощью современных методов математического анализа с применением передового программного обеспечения.

*Апробация.* Основные теоретические положения и выводы диссертационной работы были представлены на международных научно-практических конференциях: «XXXVIII Неделя науки» СПбГПУ, 2009 г., конференциях студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов СПбГАСУ «Актуальные проблемы строительства и архитектуры»(2010, 2012-2015 гг.); межвузовском научно-практическом семинаре «Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства» ВИ(ИТ) 16 апреля 2015 г.

Основные алгоритмы и методики, а также разработанная программа-макрос апробированы в строительных компаниях ООО Строительная компания «ЭТС» и ЗАО «ЛенСпецСМУ-Реконструкция» при календарном планировании строительства и реконструкции объектов, организациями представлены акты о внедрении научных результатов.

*Публикации.* По теме диссертации опубликовано 10 печатных работ, в т. ч. 4 статьи опубликованы в научных журналах, включенных в перечень, утвержденный ВАК РФ.

*Структура и объем диссертационной работы.* Диссертация изложена на 166 страницах печатного текста, состоит из введения, четырех глав, заключения, списка литературы, включающего 153 источника, и семи приложений на 28 страницах. В работе представлено 64 рисунка, 23 таблицы и 59 формул.

## **Глава 1. Анализ современных методов повышения организационно-технологической надежности строительства**

### **1.1. Факторы, влияющие на организационно-технологическую надежность строительства**

Организационно-технологическая надежность (ОТН) – это способность, существующая вероятность запроектированных решений, относящихся к планированию затрат ресурсов, в т. ч. трудовых, к определению продолжительности строительства отдельного объекта или комплекса в целом, быть выполненными в рамках установленной концепции строительного проекта и с заданным уровнем качества [1-5]. Впервые понятие «организационно-технологическая надежность» было введено в работе [6].

В основе теории надежности лежит понятие отказа выхода из строя системы частично или полностью. Надежность всего строительного процесса зависит от надежности составляющих ее элементов. Надежность любого элемента зависит от количества и частоты его отказов и может быть определена по отчетным данным, путем фотографии рабочего дня (для рабочих бригады), экспертным путем (опросом мнения специалистов и рабочих) [3, 5].

Вопросу повышения ОТН строительной системы в целом и ее составляющих элементов в частности посвящено большое количество работ известных ученых [1, 3, 5-14], однако этот вопрос остается актуальным и сегодня.

В работе [1] отмечается, что повышение ОТН зависит от факторов, повышающих эффективность производства. Такие факторы предлагается разделить на следующие группы:

1. качества, закладываемые при создании организации и формировании ее структуры:
  - 1.1. уровень специализации;
  - 1.2. степень мобильности;
  - 1.3. степень замкнутости организации (под степенью замкнутости в данном случае понимается возможность выпуска конечной продукции с минимальной зависимостью от внешних факторов: включение в состав

организации субподрядных мощностей, механизации, транспорта, производственной базы, проектных подразделений);

1.4. число внешних (по отношению к рассматриваемой организации) участников строительства: заказчиков, проектировщиков, субподрядчиков, поставщиков и других сопряженных систем;

1.5. число ступеней управления;

1.6. расстояние от управляющего центра до объекта управления;

1.7. количество контролирующих органов и лиц.

2. факторы, действие которых проявляется в процессе функционирования системы:

2.1. технологичность проектных решений (малооперационность технологии; снижение уровня тяжелых работ, выполняемых вручную; индустриальность решений);

2.2. обеспечение комплексной документации в сроки, позволяющие разработать и решить все вопросы инженерной подготовки строительства (ППР, размещение заказов и заявок и т.д.);

2.3. высокая заводская готовность конструкций, деталей, изделий;

2.4. ритмичная и комплектная поставка всех необходимых ресурсов;

2.5. интенсивное использование современных высокопроизводительных машин и оборудования;

2.6. непрерывное повышение квалификации рабочих и инженерных кадров; рациональное совмещение профессий.

Резервирование, как особый способ повышения ОТН строительства, в равной степени может быть отнесено к обеим группам факторов. Резервирование – это метод повышения надежности строительной системы с помощью введения дополнительных средств или возможностей сверх минимально необходимых для выполнения строительной системой заданных задач [1].

В работах [3-6] отмечается, что строительный процесс всегда носит вероятностный характер, т. к. на ход работ все время воздействуют различные случайные факторы, имеющие многообразную природу и различные последствия.

Случайные факторы в работе [3] предлагается разделить на следующие группы:

1. Технические факторы: поломки машин, механизмов, выход из строя сетей энерго- и водоснабжения, низкое качество строительных материалов, оборудования, а также изменение проектных решений в процессе строительства.

2. Технологические факторы: устранение брака, изменение запланированной последовательности выполнения работ, в т. ч. из-за допущенных нарушений технологии строительного производства, возникновение дополнительных работ.

3. Организационные факторы: нарушение обязательств по поставкам строительных материалов, конструкций, оборудования, по выдаче проектной документации, необходимой в работе, отсутствие рабочих требуемых специальностей и необходимого квалификационного уровня (разряда).

4. Климатические факторы: неблагоприятные погодные условия.

5. Социальные факторы: невыполнение бригадой/рабочим необходимой работы при полном обеспечении работ, умышленная порча или хищение материалов, оборудования, невыход работника на строительную площадку.

В работе [15] факторы, влияющие на надежность строительного процесса, дополнительно подразделяются на детерминированные, т. е. управляемые, и стохастические, которые в свою очередь могут быть неуправляемыми или частично управляемыми. В общем виде факторы, влияющие на ОТН строительства, представлены на рисунке 1.1.

Также, факторы, влияющие на ОТН строительного процесса можно систематизировать и разделить на *внутренние* и *внешние*. К основным внешним факторам относятся:

- неблагоприятные природно-климатические условия;
- неисправность машин и механизмов;
- выход из строя сетей энерго- и водоснабжения;
- низкое качество поставляемых строительных материалов и оборудования;
- прочие форс-мажорные обстоятельства.



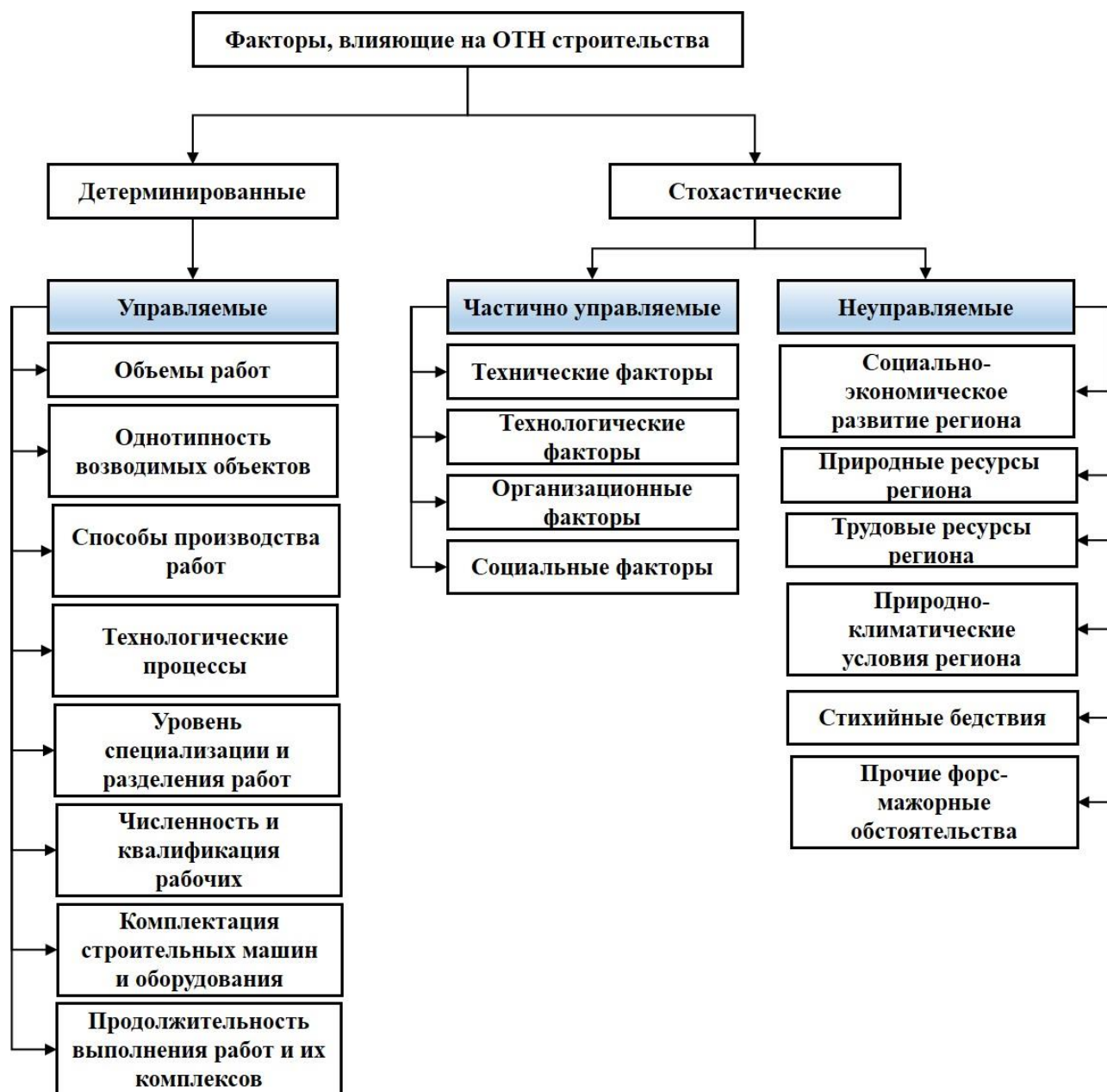


Рисунок 1.1 – Факторы, влияющие на ОТН строительства

К основным внутренним факторам, воздействующим на строительную систему, относятся:

- низкоквалифицированные строительные кадры, несоответствие профессии и разряда рабочего выполняемой работе;
- недостаточное количество рабочих на строительной площадке;
- нарушение технологии выполнения работ;
- потеря рабочего времени, в т. ч. из-за затраты основного времени работы на устранения брака;
- плохая организация работ в бригаде, несоблюдение графика работ.

В работе наибольшее внимание уделено исследованию одного из важнейших факторов, влияющих на ОТН строительной системы, обеспечивающих ее надежное функционирование – строительной бригаде. Надежность работы бригады зависит и может быть оценена через надежность непосредственно связанных с ней элементов, таких как: численность и квалификационный уровень рабочих, входящих в ее состав, исправная работа машин и механизмов, своевременные поставки строительных материалов и т. д.

Зачастую срыв сроков строительства и снижение качества строительной продукции происходят не столько из-за внешних факторов, сколько из-за внутренних, перечисленных выше. Согласно статистике Службы государственного строительного надзора и экспертизы (далее – Служба надзора) [16], на первом месте в Санкт-Петербурге находилась и находится проблема качества строительства. Ежегодно Службой надзора выявляются порядка 200 различных дефектов строящихся объектов, многочисленные нарушения в проектной документации, несоблюдение технических регламентов. По объектам монолитного домостроения самые распространенные нарушения – это использование бетона более низкого класса, увеличение шага армирования, несоответствие защитного слоя арматуры требованиям проекта, нарушение технологии по укладке бетонной смеси, что приводит к образованию раковин на поверхности конструкций. По мнению экспертов основными причины таких дефектов являются плохой входной контроль за поступающими на объект строительными материалами, низкий операционный контроль, низкая квалификация рабочих.

Говоря о качестве строительной продукции, отечественные строители часто обращаются к опыту финских строительных компаний. В таблице 1.1 проведен сравнительный анализ подготовки строительных кадров в России и Финляндии на основании общедоступных сведений, представленных в [17, 18, 19]. Особо стоит отметить интерактивную систему DigiRatu, в которой представлено пошаговое видео и фото описание технологии производства строительных работ, доступ к которой может получить любой рабочий прямо на строительной площадке.

Таблица 1.1 – Строительные кадры: опыт России и Финляндии

№п/п	Сравниваемая категория	Россия	Финляндия
1	Существующее объединение строительных компаний	Национальное объединение строителей (НОСТРОЙ) – это негосударственная некоммерческая организация, объединяющая саморегулируемые организации на основе обязательного членства. Членами НОСТРОЙ являются свыше 260 строительных компаний.	Союз Строительной промышленности Финляндии объединяет порядка 2600 строительных компаний, в которых работают 55 тысяч человек. Общий оборот компаний – членов Союза достигает 10 млрд евро в год, при этом общий оборот строительной отрасли – около 25 млрд. евро.
2	Лицензирование строительства	Да (государственное лицензирование строительной деятельности впервые в России было введено в 1991 году с целью защиты прав потребителей строительной продукции)	Нет. Все данные о нарушениях в строительстве находятся в открытом доступе, что серьезно затрудняет выход недобросовестных строительных компаний на рынок. Основным критерием качественной работы для строительных компаний является прочная и многолетняя деловая репутация.
3	Проведение подрядных торгов	Зачастую торги выигрывает тот участник (строительная компания), который предложил наименьшие сроки и наименьшую стоимость выполнения строительных работ, репутация и квалификация компании не являются доминирующими факторами.	Строительство начинается с того, что муниципальные органы за свои средства делают проект и выставляют его на торги. При выборе подрядчика цена проекта из 100 условных баллов составляет 70, а 30 – репутация и прочие показатели, которые влияют на качество строительства. По особо опасным объектам организуется тендер, где главными критериями выбора подрядчика служат репутация и предквалификация компании, а только потом в расчет принимается цена строительства.
4	Зарплата рабочих	Средняя зарплата – 7 евро в час, около 20% русских работают на стройках в Финляндии	Средняя зарплата – 18 евро в час, финские строители активно работают за рубежом, в том числе, и в России – на ее долю приходится 19% оборота строительных компаний

№п/п	Сравниваемая категория	Россия	Финляндия
5	Система подготовки строительных кадров	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Три уровня образования: среднее (полное/неполное), среднее специальное (колледж), высшее (институт, университет).</li> <li>• Низкий престиж и социальный статус рабочих профессий. Колледжи ликвидируются либо перепрофилируются на подготовку специалистов для других отраслей. В 2002 году в Москве насчитывалось порядка 46 строительных колледжей, в 2010 – 12, в 2011 – 10.</li> <li>• Высшее образование отнюдь не всегда гарантирует получение постоянной, стабильной и высокооплачиваемой работы.</li> <li>• Система специального образования является очень широкой, она учит не навыку, а дает знания по всему предмету и специфике объекта в целом.</li> <li>• По инициативе НОСТРОЯ в 2013 году была разработана концепция ресурсных центров, которые позиционируются как образовательные учреждения нового поколения, которые оснащены современной учебно-материальной базой. Используя в образовательном процессе передовые технологии, они призваны обеспечить высококачественную подготовку рабочих строительных профессий для нужд строительной отрасли в конкретном регионе.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Три уровня образования: среднее, среднее специальное, высшее.</li> <li>• После получения среднего образования около 50% учеников выбирают колледжи, одним из самых популярных направлений является строительство. В Финляндии существует 60 строительных колледжей, где можно получить образование по 33 строительным специальностям.</li> <li>• Существует возможность получить диплом по специальности без обучения – так называемые демонстрационные экзамены.</li> <li>• Система специального образования более узкая, в техникумах студенты получают сугубо прикладные навыки.</li> <li>• Большую часть затрат на профессиональное образование государство берет на себя, оно же выплачивает учащимся пособия на питание и проживание в общежитиях.</li> <li>• При Союзе строительной промышленности Финляндии работает учебный центр повышения квалификации «RATEKO», основанный в 1962 году как школа профессиональной подготовки. Центр постоянно получает дотации от государства. Основная задача учебного центра – это профессиональная подготовка, образование и аттестация работников строительной отрасли.</li> </ul>

№п/п	Сравниваемая категория	Россия	Финляндия
5	Система подготовки строительных кадров	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Претендовать на аккредитацию может любое учреждение начального, среднего или высшего профобразования, осуществляющее подготовку кадров в сфере строительства, если у него есть развитая материально-техническая база, учебный процесс организован на высоком уровне, получена рекомендация от координатора НОСТРОЙ по данному федеральному округу.</li> <li>• После определения базовых центров с ними будут заключены соглашения о сотрудничестве. Если регион испытывает острую нехватку специалистов строительных профессий, то ресурсный центр может получить заказ на их подготовку и повышение квалификации.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• В декабре 2010 в Петербурге открылся сервисный центр «Эдустрой» от Союза строительной промышленности Финляндии, разработаны учебные курсы на основе финских программ.</li> <li>• Картотека RATU и электронная операционная система DigiRatu предназначены для дистанционного обучения и инструктажа рабочих, в том числе непосредственно на строительной площадке. Это 3774 карты-страницы по всем строительным специальностям и направлениям. Картотека RATU формируется с 1974 года на основе сбора, переработки и накопления информации. Карты RATU доступны всем – их можно свободно купить в магазине, используются при подготовке и переподготовке строительных кадров. Система DigiRatu работает через интернет и может быть установлена на любом портативном компьютере. Она работает на четырех языках (английском, русском, финском и эстонском), содержит в себе большое количество описаний различных рабочих технологий с демонстрационными видеороликами. Кроме того, DigiRatu содержит инструменты, позволяющие рассчитывать трудозатраты и расход материалов.</li> </ul>

Остановимся подробнее на рассмотрении внутренних факторов, оказывающего существенное влияние на ОТН строительства, и зачастую приводящего к срывам запланированных сроков строительства. Одним из таких факторов является потеря рабочего времени. В работах [20, 21] рассмотрены причины потерь рабочего времени на строительной площадке в западных строительных компаниях. Данные, представленные в таблице 1.2 [21], показывают, что первопричинами потерь рабочего времени являются проектные ошибки и переделки, т. е. исправление брака вследствие изначально некачественно выполненных работ.

Таблица 1.2 – Причины потерь рабочего времени

Причины потерь рабочего времени	Величины потерь, %	
	Средние	Максимальные
Проектные ошибки	4.4	12.6
Ошибки на стройплощадке	1.6	5.4
Ошибки подготовительного периода	1.2	6.2
Потери из-за переделок	6.1	17.1
Слабое взаимодействие бригад	0.8	5.8
Ожидание строительного оборудования	0.8	2.5
Ожидание стройматериалов	0.7	6.8
Перебазировка ресурсов	0.6	3.4
Ожидание информации	0.3	1.9
Ожидание инструмента	0.2	1.3
Внутрибригадное взаимодействие	0.2	1.6
Прочие потери	1.4	3.2

В работе [21] причины потерь рабочего времени подразделяются на субъективные и объективные, которые практически не зависят от субъектов управления. К субъективным причинам относятся:

1. прогулы;
2. низкая квалификация исполнителей;
3. недобросовестность поставщиков оборудования, материалов и т.п.

К объективным причинам потерь рабочего времени относятся:

1. принципиально статистическое определение норм трудовых затрат;

2. непредвиденные перерывы в выполнении работ (болезни, физиологические нужды и т. п.);
3. неопределенность состава работ, возникающая от планирования по укрупненным показателям;
4. непредвиденные погодные изменения;
5. принятие гипотезы о равномерном выполнении работ во времени.

В работе [22] причины потерь рабочего времени предлагается подразделять на явные и скрытые, в работе [20] потери рабочего времени подразделяются на возникающие из-за переделок и из-за ожиданий. Также причины потерь рабочего времени можно классифицировать в зависимости от случайных факторов [3], воздействующих на строительную систему, т.е. в зависимости от технических факторов, технологических, организационных, климатических или социальных.

Проведем анализ спроса и предложения на рабочие кадры различных профессий на строительном рынке Санкт-Петербурга. На рисунке 1.2 представлена круговая диаграмма вакансий по строительным специальностям на рисунке 1.3 – круговая диаграмма распределение рабочих по специальностям, разместившим объявления об устройстве на работу.

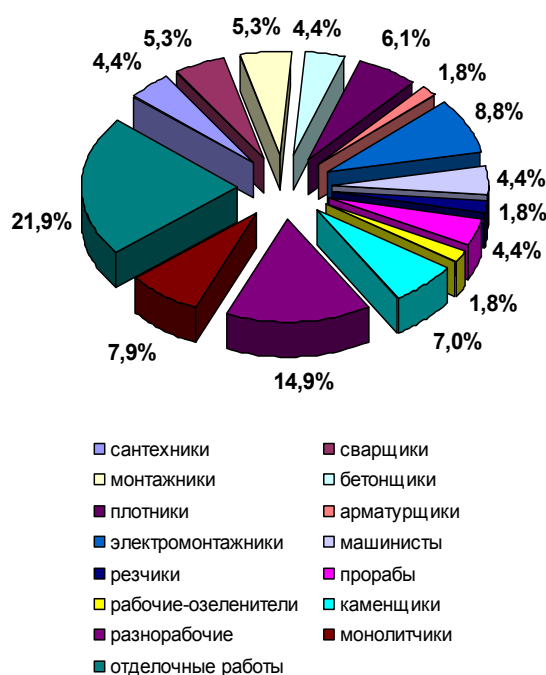


Рисунок 1.2 – Диаграмма распределения вакансий по рабочим специальностям

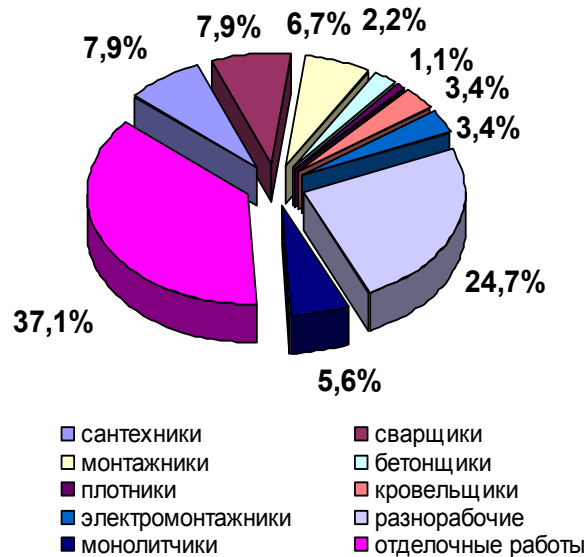


Рисунок 1.3 – Диаграмма распределения рабочих по специальностям, разместивших объявления об устройстве на работу

Анализируя диаграммы можно сделать вывод, что наибольшее количество объявлений об устройстве на работу и вакансий относятся к специалистам, работающим в нескольких направлениях, т.е. «разнорабочим». Это обстоятельство также существенно влияет на квалификацию строительных кадров, т.к. строительные компании, стремясь сократить издержки, стараются принять на работу широкопрофильных специалистов, зачастую не имеющих должной профессиональной подготовки по заявленным специальностям, а не узкоспециализированных профессионалов.

Проведя краткий анализ факторов, влияющих на ОТН строительной системы, можно сделать вывод, что учет и контроль всех факторов, влияющих на строительный процесс, является очень сложной задачей. Помимо необходимости всестороннего рассмотрения внешних факторов, также внимание нужно уделять и внутренним факторам, включающим в себя и организацию работ в бригаде. Поскольку вопрос дефицита квалифицированных рабочих кадров стоит сегодня особенно остро, а качество строительной продукции нуждается в улучшении, вопросу качественного и количественного состава рабочей бригады, в работе будет уделено особое внимание.



## **1.2. Анализ подходов к модернизации системы профессиональной квалификации в строительстве**

Решению задачи повышения квалификации и обучения специалистов строительной отрасли посвящены работы многих ученых [23-34]. Однако проблема низкой квалификации строительных кадров на сегодняшний день продолжает оставаться одной из самых актуальных.

Президент Российской Федерации В. В. Путин в своих докладах и обращениях неоднократно акцентировал внимание, что недостаток высококвалифицированных рабочих кадров является такой же преградой на пути развития страны, как инфраструктурные ограничения, отсутствие дорог, достаточного количества электрической энергии, средств связи и т. д. По словам В. В. Путина: «Квалифицированные рабочие кадры – это необходимейшее условие для развития нашей страны, их отсутствие является естественным ограничителем нашего роста. Вопрос квалифицированных рабочих кадров выходит в повестку дня в число первых» [35, 36].

На сегодняшний день в Российской Федерации существуют два апробированных и хорошо зарекомендовавших себя квалификационных справочника – Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих (далее – ЕТКС) и Единый квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и служащих (далее – ЕКС) [37, 38]. ЕТКС разрабатывался в 1968-1969 годах, модернизация и обновления сборников была проведена в 1984-1986 годах. С 1999 года началась разработка новых выпусков. В настоящее время во многих организациях одновременно действует часть выпусков ЕТКС, утвержденных в 1984-1986 годах, разработанных применительно к шестirazрядной тарифной сетке, а часть выпусков, утвержденных с 1999 по 2008 года, разработанных применительно к восьмиразрядной сетке. Квалификационные справочники тесно связаны с документами в области изучения качественных и количественных показателей трудового потенциала, профессиональной подготовки рабочих:

- Общероссийский классификатор занятий (ОКЗ) [39];

- Общероссийский классификатор видов экономической деятельности (ОКВЭД) [40];
- Общероссийский классификатор профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов (далее – ОКПДТР) [41].

Например, внесение изменений в ОКПДТР (относительно наименований профессий рабочих, диапазона сложности работ) происходит после внесения соответствующих изменений в ЕТКС [32].

Большинство экспертов в области квалификационных стандартов давно пришли к мнению, что изменяющийся рынок труда требует постоянного развития профессиональных навыков и компетенций работника, а квалификационные справочники, в свою очередь, постепенно устаревают и не соответствуют действительности. В течение последних 20-ти лет более чем в 100 странах мира идет работа в области создания и внедрения национальных квалификационных структур и общенациональных профессиональных стандартов. В этот список входят экономически развитые страны, страны Азии и Латинской Америки, Центральной и Восточной Европы, бывшие советские республики. [43, 44, 45].

Однако, несмотря на то, что в существующих условиях строительного рынка и активного реформирования экономики России эффективность применения ЕТКС и ЕКС значительно снизилась, полный отказ от данных документов нецелесообразен и недопустим.

В настоящее время в России подготовлена соответствующая нормативно-правовая база для модернизации ЕТКС и ЕКС на основе интеграции профессиональных стандартов.

Профессиональный стандарт – это многофункциональный нормативный документ, системно раскрывающий содержание трудовой деятельности работников и требования к их компетенциям для конкретной области профессиональной деятельности [46].

Основные документы, регламентирующие разработку и утверждение профессиональных стандартов:

- Трудовой кодекс Российской Федерации. Статья 195.1, которая закрепила понятия квалификации работника и профессионального стандарта [47];
- Указ Президента Российской Федерации от 16 апреля 2014 года № 249 «О формировании Национального совета при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям»[48];
- Об утверждении комплексного плана мероприятий по разработке профессиональных стандартов, их независимой профессионально-общественной экспертизе и применению на период 2014-2016 годы (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 марта 2014 г. № 487-р) (далее – Комплексный план)[49];
- О правилах разработки, утверждения и применения профессиональных стандартов (в ред. Постановления Правительства Российской Федерации от 23.09.2014 № 970) [50];
- Об утверждении Макета профессионального стандарта (приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 12 апреля 2013 N 147н, приказ Минтруда России от 29 сентября 2014 г. №665н) [51];
- Об утверждении уровней квалификации в целях разработки проектов профессиональных стандартов (приказ Минтруда России от 12 апреля 2013 года № 148н) [52];
- О реестре профессиональных стандартов (перечне видов профессиональной деятельности) (приказ Минтруда России от 29 сентября 2014 года № 667н)[53];
- Об утверждении методических рекомендаций по организации профессионально-общественного обсуждения и экспертизы проектов профессиональных стандартов (приказ Минтруда России от 30 сентября 2014 года № 671н) [54].

В соответствии с Комплексным планом окончательная разработка национального классификатора профессиональных стандартов должна быть реализована к 2016 году.

Схема взаимодействия основных органов, участвующих в системе модернизации системы квалификации рабочих в России, представлена на рисунке 1.4.

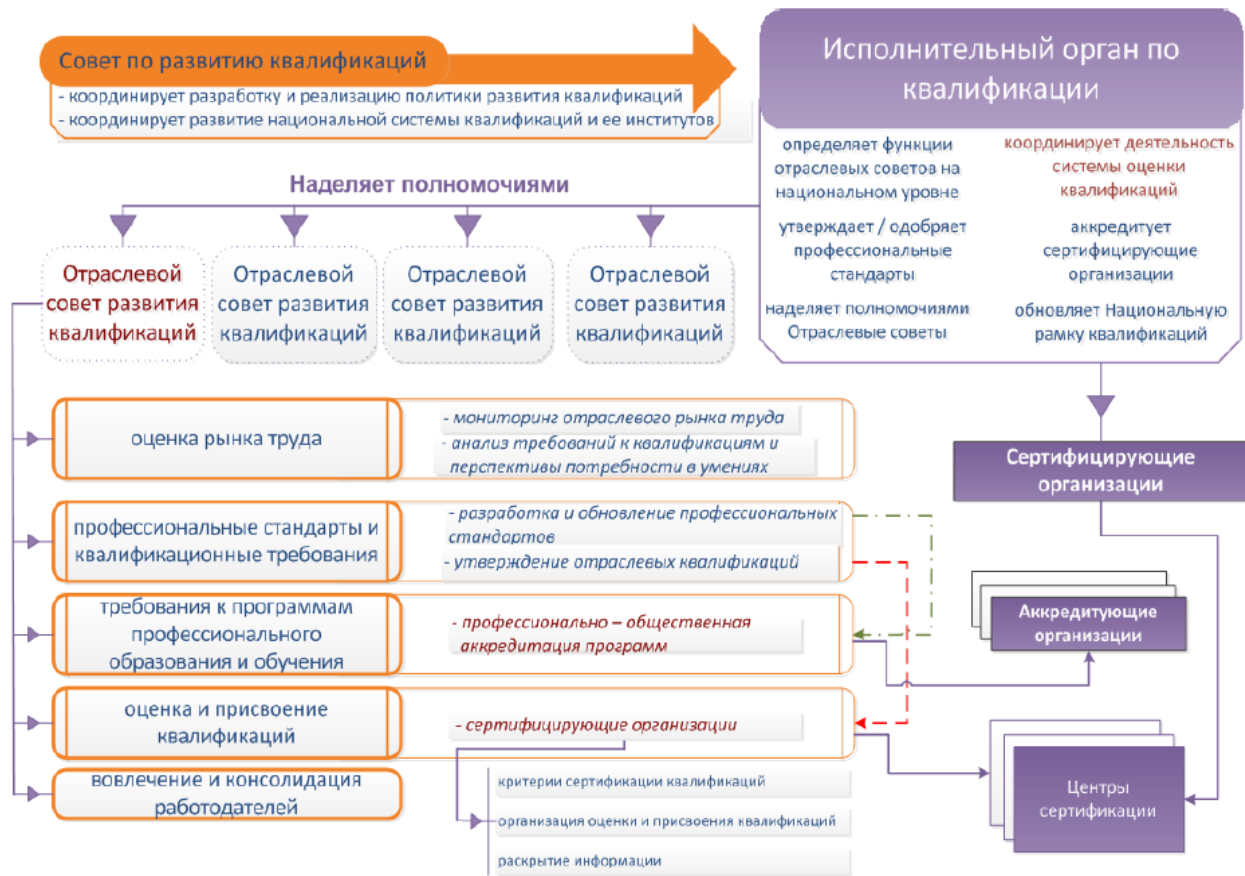


Рисунок 1.4 – Схема взаимодействия основных органов, участвующих в системе модернизации системы квалификации рабочих в России

Стоит отметить, что основные положения отечественных профессиональных стандартов и основы подготовки квалификационных кадров базируются преимущественно на зарубежных аналогах. В работах [55-61] представлен зарубежный опыт, в том числе опыт Великобритании и Франции, в подготовке строительных кадров, повышении навыков и умений рабочих. В работе [62] рассматривается математическая модель оценки качественных навыков рабочих при формировании строительной бригады. В работе [63] вводит понятие многопрофильного, многоквалификационного «multi-skilled» рабочего, и рассматривается изменение общей производительности при расширении трудовых функций одного специалиста.

В соответствии с Методическими рекомендациями по разработке профессионального стандарта, утвержденными приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29.04.2013 № 170н [64], (далее – Методические рекомендации), профессиональный стандарт должен содержать следующие разделы:

1. раздел I. Общие сведения;
2. раздел II. Описание трудовых функций, входящих в профессиональный стандарт (функциональная карта вида профессиональной деятельности);
3. раздел III. Характеристика обобщенных трудовых функций;
4. раздел IV. Сведения об организациях – разработчиках профессионального стандарта.

Однако стоит отметить, что все разделы профессиональных стандартов носят описательный характер требований, предъявляемых к специалисту, ни в одном из разделов не предложена количественная оценка опыта, образования, трудовых функций рабочего.

В соответствии с Методическими рекомендациями, трудовая функция работника определяется кодом, например А/01.6, где: первый знак – буквенный код обобщенной трудовой функции; два знака через дробь – порядковый номер трудовой функции в перечне трудовых функций соответствующего вида профессиональной деятельности. Если трудовые функции, выделяемые в обобщенной трудовой функции, относятся к нескольким уровням квалификации, то трудовой функции, относящейся к наименьшему уровню квалификации, присваивается номер 01. Шифр А/01.6 – код первой трудовой функции, относящейся к 6 уровню квалификации и входящей в состав обобщенной трудовой функции А. Единые требования к квалификации работников, установленные Уровнями квалификации, могут быть расширены и уточнены с учетом специфики конкретных трудовых функций. В этом случае разработчик профессионального стандарта может ввести подуровни квалификации.

В соответствии с Правилами разработки, утверждения и применения профессиональных стандартов, утвержденными постановлением Правительства Российской Федерации от 22.01.2013 № 23 [65], профессиональные стандарты должны применяться работодателями при формировании кадровой политики и в управлении персоналом, при организации обучения и аттестации работников, разработке должностных инструкций, тарификации работ, присвоении тарифных разрядов работникам и установлении систем оплаты труда с учетом особенностей организации производства, труда и управления.

Разработка профессиональных стандартов позволит строительной и сопутствующей ей сферам наиболее адекватно и оптимально удовлетворить потребности в грамотных специалистах [66].

Проведен анализ проблем и предложений, выдвинутых строительными организациями при разработке профессиональных стандартов. Из них можно выделить следующие:

- со стороны строительных компаний предложено расширить графу «Возможные наименования должностей» раздела 3.1 «Обобщенная трудовая функция», поскольку фактически не все работники, которые должны выполнять указанные в п. 3.1 трудовые функции имеют соответствующее образование и квалификацию. Предлагается расширение раздела «возможные наименования должностей» дополнительными должностями, что даст работодателю возможность выбрать действительно квалифицированного специалиста. Однако уход от четко сформулированной должности специалиста и закреплённой за ним трудовой функции снова ведет к неоднозначному пониманию его должностных обязанностей;
- у некоторых строительных организаций возникают проблемы при определении требований, предъявляемых к практическому опыту работника, к образовательным программам, которые ему необходимо пройти для достижения определенной профессиональной квалификации. Таким образом, необходима детальная проработка путей достижения

каждого уровня квалификации, четко установить возможные допущения и условия возможных отклонений;

- строительными компаниями отмечается, что на сегодняшний момент в строительном процессе задействовано большое количество работников, не имеющих соответствующих документов/сертификатов об уровне профессионального образования, указанных в проектах профессиональных стандартов. Соответственно необходимо разработать возможность подтверждения работниками своего квалификационного уровня путем разработки определенных тестов и квалификационных экзаменов для таких работников. Пример сертификации квалификационного уровня рабочего за рубежом рассматривается в работе [67];
- наиболее «проблемными» этапами заполнения макета профессионального стандарта строительными компаниями отмечены: выделение обобщенных трудовых функций и раскрытие их содержания; выделение подуровней квалификаций; а также заполнение разделов «Требования к образованию», «Требования к опыту работы», «Особые условия допуска к работе».

Краткий анализ проблем, возникающих при разработке профессиональных стандартов, показывает необходимость более детальной проработки как требований к образованию, опыту работы сотрудника, так и более четкое определение его трудовых функций.

На сегодняшний день в соответствии с общедоступными данными, представленными на сайте Министерством труда и социальной защиты Российской Федерации, в разделе «Строительство» представлены 43 утвержденных профессиональных стандарта.

На официальном сайте Национального объединения строителей (Носстрой) представлены результаты внедрения разработанной Единой системы аттестации руководителей и специалистов строительного комплекса (ЕСА). Аттестация в ЕСА проводится по всем видам строительных работ, основной принцип работы системы представлен на рисунке 1.5. На сегодняшний день аттестацию прошли

около 110 000 специалистов. Интерфейс программы ЕСА представлен на рисунке 1.6.

Таким образом, уровень квалификации специалиста, с одной стороны, будет регламентироваться разработанными профессиональными стандартами, с другой, должен будет подтвердить через успешное прохождение тестирования в ЕСА.



Рисунок 1.5 – Порядок аттестации рабочего специалиста в системе ЕСА

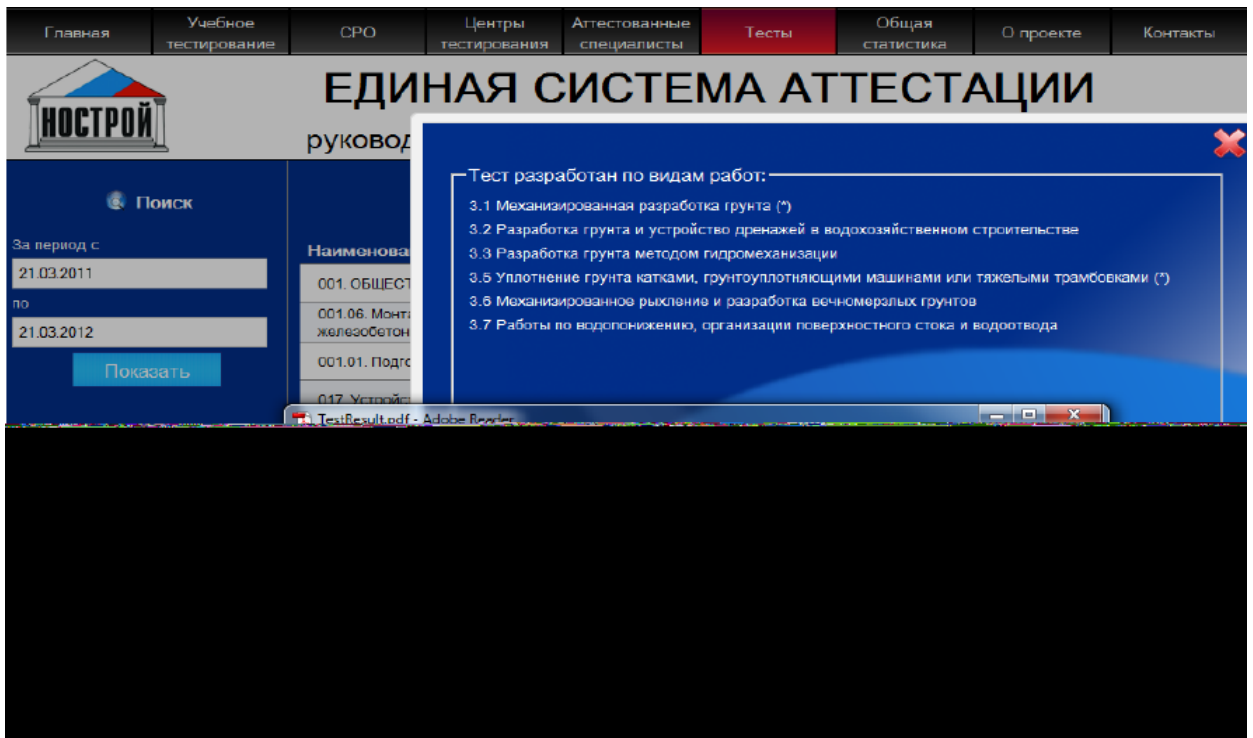


Рисунок 1.6 – Интерфейс программы ЕСА



### 1.3. Рассмотрение современных математических моделей для исследования и оптимизации производственных процессов

Строительный процесс представляет собой постоянно изменяющуюся во времени сложную параметрическую систему. Параметры строительного процесса, например, количество рабочих на строительной площадке, объем выполняемых работ, постоянно изменяют свои значения, создавая определенные колебания и отклонение значений параметров от определенной средней величины. Все изменения значений параметров строительного процесса можно представить в виде временного ряда данных, рассматриваемого в определенный период.

Согласно изложенной гипотезе Ж. Б. Ж. Фурье не существует функции, которую нельзя было бы разложить в тригонометрический ряд. Любой сигнал, представленный рядом данных (здесь и далее понятия «сигнал» и «ряд данных» будем считать эквивалентными), можно разложить на различные синусоидальные составляющие с различными частотами, вследствие чего можно узнать, как возник первоначальный сигнал, по какому пути он следовал или, наконец, какому внешнему влиянию он подвергался. Таким образом, можно получить информацию для выяснения происхождения сигнала. Подобный метод анализа называется спектральным анализом или анализом Фурье [68-74].

Рассмотрим дискретное преобразование Фурье (далее – ДПФ) и быстрое преобразование Фурье (далее – БПФ).

В настоящее время существует большое количество компьютерных программ, например, MATLAB, Mathcad, Mathematica, Maple, позволяющих быстро обрабатывать любые временные ряды данных. Оцифрованный сигнал в виде последовательности цифровых значений вводится в программу и, проведя определенные вычисления, определяются коэффициенты ряда Фурье. Также в программе можно провести сглаживание сигнала, получить частотный и амплитудный спектры.

Для реализации ДПФ необходимо конечное число входных данных  $N$ . Уравнение для получения  $N$ -точечного ДПФ имеет следующий вид [75, 76]:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi nk/N} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) [\cos(2\pi nk/N) - j \sin(2\pi nk/N)], \quad (1.1)$$

Также существует обратное дискретное преобразование Фурье (далее – ОДПФ), которое определяется по следующей формуле:

$$x(n) = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) e^{j2\pi nk/N} = \sum_{k=0}^{N-1} X(k) [\cos(2\pi nk/N) + j \sin(2\pi nk/N)], \quad (1.2)$$

где  $N$  – количество значений сигнала за период, т.е. количество компонент разложения;

$x(n)$  – значения сигнала (в дискретных временных точках с номерами  $n=0, \dots, N-1$ ), которые являются входными данными для прямого преобразования и выходными для обратного;

$X(k)$  – спектр исходного сигнала, состоящий из  $N$  комплексных амплитуд синусоидальных сигналов, в совокупности представляющих собой исходный сигнал, частотный выход ДПФ в  $k$ -той точке спектра, где  $k$  находится в диапазоне от  $k=0$  до  $N-1$ , что является выходными данными для прямого преобразования и входными для обратного преобразования.

Физический смысл дискретного преобразования Фурье состоит в том, чтобы представить некоторый дискретный сигнал в виде суммы гармонических колебаний или просто гармоник. Параметры каждой гармоники вычисляются прямым преобразованием, а сумма гармоник – обратным. [75]. Набор гармоник, выделенных в сигнале – это и есть спектр. Каждая гармоника характеризуется тремя параметрами: амплитудой, частотой и фазой.

Если условно опустить в формулах (1.1) и (1.2) наличие или отсутствие коэффициента  $1/N$ , а также то, каким является показатель степени  $e$  – положительным или отрицательным, можно сделать вывод, что формулы абсолютно одинаковы. Входными данными для ДПФ является ряд данных, а для ОДПФ – коэффициенты Фурье. Таким образом, в зависимости от того, с каким процессом мы имеем дело, меняется знак показателя степени  $e$ , а результат вычислений делится на число данных  $N$  [68].

БПФ по сути является алгоритмом для ДПФ для упрощения и сокращения количества вычислений, которые необходимо проделать при ДПФ. Количество вычислений, которое необходимо провести при БПФ и ДПФ представлены в таблице 1.3 [75].

Таблица 1.3– Сравнение количества вычислений при ДПФ и БПФ

Кол-во значений N	Кол-во умножений при ДПФ	Кол-во умножений при БПФ	Эффективность БПФ
256	65,536	1,204	64:1
512	262,144	2,304	114:1
1024	1048,576	5,120	205:1
2048	4194,304	11,264	372:1
4096	16777,216	24,576	683:1

Сигналы, рассматриваемые к дальнейшей обработке, имеют значения из области действительных чисел. Однако если использовать разложение в ряд Фурье в комплексной форме, то формула (1.1) для ДПФ значительно упростится, т. к. в ней не будет тригонометрических функций. Комплексное число можно выразить по формуле:

$$z = \alpha + j\beta, \quad (1.3)$$

где  $j$  – мнимая единица, определяемая как:

$$j = \sqrt{-1} \quad (1.4)$$

$\alpha$  – действительная часть комплексного числа и может быть выражена как  $Re(z)$ ;

$\beta$  – мнимая часть комплексного числа и может быть выражена как  $Im(z)$ .

Проведем замену составляющих тригонометрических компонентов формулы (1.1) следующим образом.

$$\text{Пусть } \text{Re } X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \cos(2\pi nk / N) \quad (1.5)$$

$$\text{Im } X(k) = -\frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) \sin(2\pi nk / N), \quad (1.6)$$

Тогда формулу (1.1) для ДПФ можно записать в следующем виде:

$$X(k) = \text{Re } X(k) + j \text{Im } X(k), \quad (1.7)$$

Формулой Эйлера [68] может быть выражена связь между тригонометрическими компонентами формулы (1.1) следующим образом:

$$e^{j\theta} = \cos(\theta) + j\sin(\theta), \quad (1.8)$$

где  $e$  – основание натурального логарифма, определяемое по формуле:

$$e = \lim_{n \rightarrow \infty} \left(1 + \frac{1}{n}\right)^n = 2,71828\dots, \quad (1.9)$$

$\theta$  – угол между действительной осью и прямой, соединяющей некоторую точку на окружности с началом координат.

Если исходный сигнал  $x(n)$  является четной функцией, то мнимые составляющие всех комплексных коэффициентов Фурье равны нулю, если исходный сигнал является нечетной функцией, то действительные части всех коэффициентов равны нулю [68, 69, 71].

На рисунке 1.7 показаны только косинусные гармонические базисные функции и представлена вещественная часть спектра, на основе же синусных функций можно получить аналогичное представление для вычисления мнимой части спектра. Точка  $ReX(0)$  является простой суммой входных отсчетов во временной области, т. к.  $\cos(0)=1$ . Точка  $ReX(1)$  получена умножением каждого отсчета из временной области на соответствующее значение косинусоиды, имеющей полный период на интервале  $N$  с последующим суммированием результатов. Точка  $ReX(2)$  получена умножением каждого отсчета из временной области на соответствующее значение косинусоиды, имеющей два полных периода на интервале  $N$  с последующим суммированием результатов. Точка  $ReX(3)$  получена умножением каждого отсчета из временной области на соответствующее значение косинусоиды, имеющей три полных периода на интервале  $N$  с последующим суммированием результатов [68, 75]. Аналогичные процедуры проводятся для всех  $N$  выходных отсчетов.

После нахождения всех значений  $X(k)$  с помощью ДПФ, которые содержат вещественную и мнимую компоненты, можно найти значения амплитуд  $A(k)$  и фаз  $\varphi(k)$ :

$$A(k) = \sqrt{(\operatorname{Re} X(k))^2 + (\operatorname{Im} X(k))^2}, \quad (1.10)$$

$$\varphi(k) = \operatorname{arctg} \left( \frac{\operatorname{Im} X(k)}{\operatorname{Re} X(k)} \right) \quad (1.11)$$

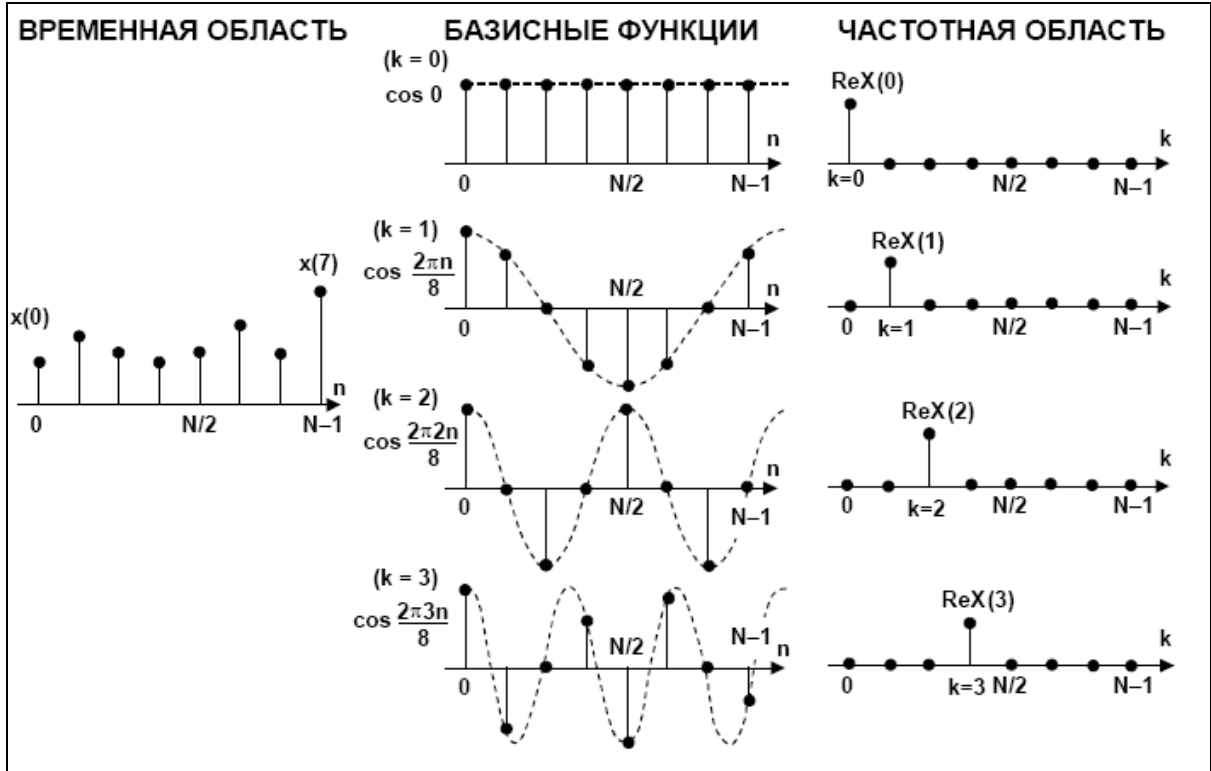


Рисунок 1.7 – Пример разложения сигнала с помощью ДПФ

В БПФ число вводимых данных сигнала (значений ряда данных) ограничивается условием:

$$N = 2^k, \quad (1.12)$$

где  $k$  – значение степени.

Таким образом, в системе БПФ можно обрабатывать сигналы с количеством данных 2, 4, 8, 16, 32, 64, 128 и т.д. Несмотря на это ограничение, БПФ почти всегда отдадут предпочтение, а нехватку значений сигнала допустимо восполнять нулями. Общий принцип работы БПФ показан на рисунке 1.8 для количества входных данных сигнала  $N=8$ .

Проведем замену составляющих формулы (1.1) следующим образом.

$$\text{Пусть } W_N = e^{-j2\pi/N}, \quad (1.13)$$

$$W_N^{nk} = e^{-j2\pi nk/N}, \quad (1.14)$$

Тогда формула (1.1) примет вид:

$$X(k) = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) e^{-j2\pi nk/N} = \frac{1}{N} \sum_{n=0}^{N-1} x(n) W_N^{nk}, \quad (1.15)$$

где  $W_N$  –поворачивающий множитель [68, 77].

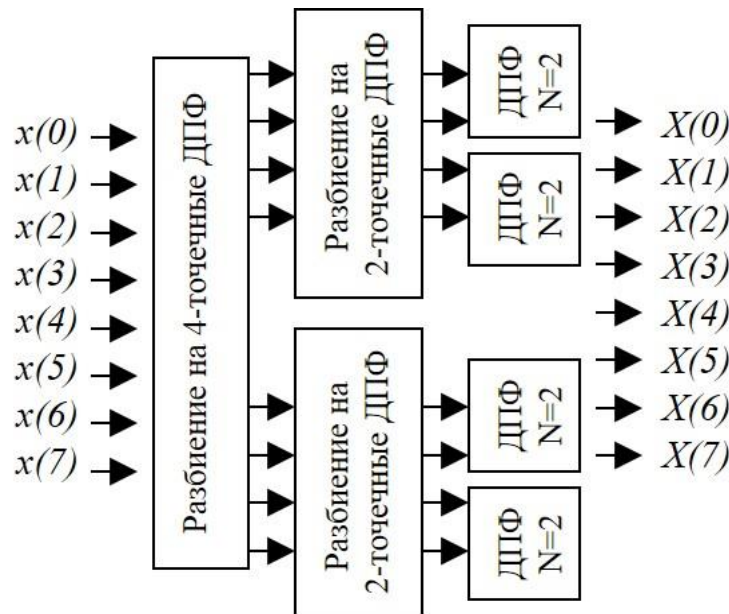


Рисунок 1.8 – Алгоритм БПФ для количества входных данных

Свойства поворачивающих множителей можно сформулировать следующим образом [75]:

- Симметричность:  $W_N^{r+N/2} = -W_N^r$ , (1.16)

- Периодичность:  $W_N^{r+N} = W_N^r$ , (1.17)

где  $r$  – остаток от показателя  $N$ .

Использование свойств поворачивающих множителей значительно упрощает количество вычислительных операций при БПФ.

Процесс БПФ завершается с помощью метода вычисления «бабочкой» (рисунок 1.9 [75]). Количество вычислений методом «бабочкой» в БПФ для рассматриваемого ряда  $N=8$ , равно 12, что составляет  $3/16$  от 64-х операций умножения, которые пришлось бы провести при использовании ДПФ. Число операций при ДПФ равно  $N^k$ , а для БПФ –  $Nk/2$ . Если число исходных данных сигнала невелико, то можно использовать и ДПФ, при больших объемах входных данных преимущество использования БПФ неоспоримо. При использовании

программного обеспечения, для ДПФ для выполнения всех вычислений требуется 1 минута времени, тогда как для БПФ – 0,3 секунды [68, 69, 75].

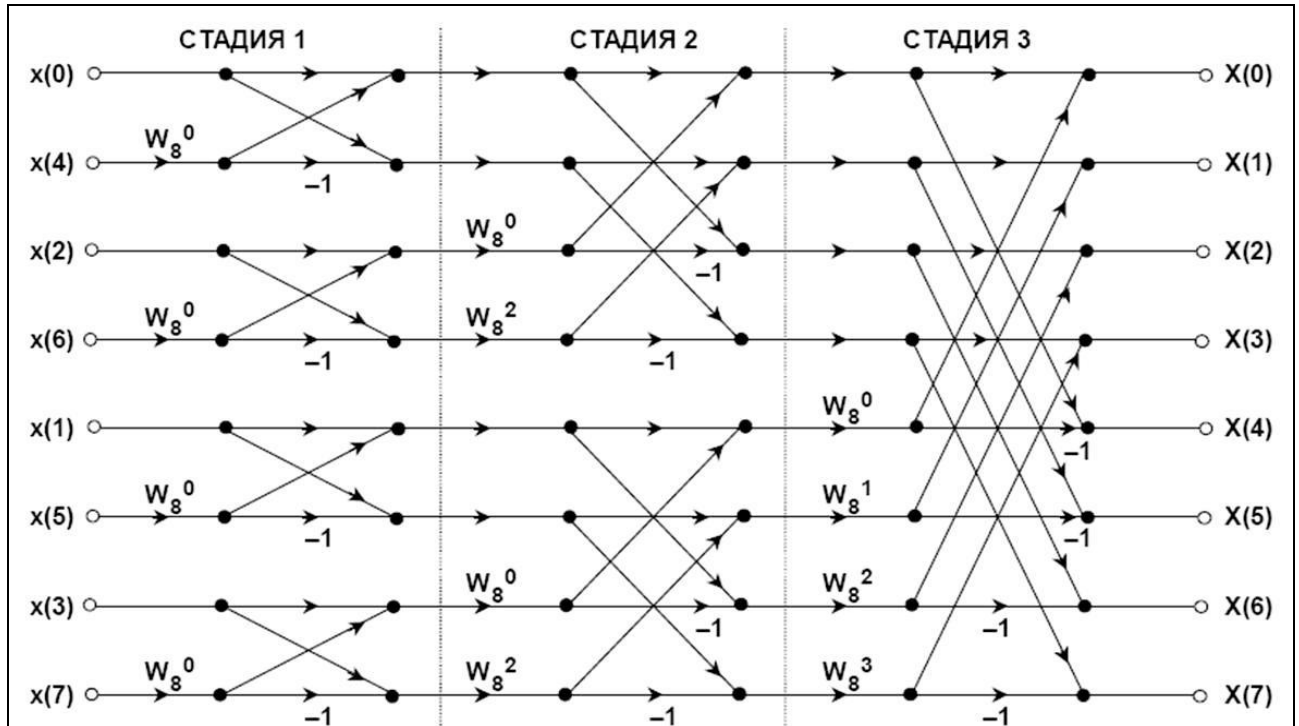


Рисунок 1.9 – Метод вычисления «бабочкой»

При использовании различного программного обеспечения для осуществления БПФ применяется перестановка разрядов, техника сортировки [68] или реверсирование битов [75], что также значительно увеличивает скорость вычислений.

Вернемся к сигналу с количеством значений в ряде данных  $N=8$ . Представим значения индексов ряда  $x(0), x(1), x(2), x(3), x(4), x(5), x(6), x(7)$  по порядку и выразим в двоичной системе счисления, затем поменяем последовательность ряда  $x(0), x(4), x(2), x(6), x(1), x(5), x(3), x(7)$  и проделаем то же самое. Результаты показаны в таблице 1.4 [65]. Если проанализировать индексы в двоичной системе, то можно сделать вывод, что значение индексов получается из исходных перестановкой старших и младших разрядов. Это правило также универсально для любого количества членов ряда, при выполнении условия (1.12).

Таблица 1.4 – Техника перестановки разрядов

Исходный сигнал		Сигнал после перестановки разрядов	
Десятичная система счисления	Двоичная система счисления	Десятичная система счисления	Двоичная система счисления
0	000	0	000
1	001	4	100
2	010	2	010
3	011	6	110
4	100	1	001
5	101	5	101
6	110	3	011
7	111	7	111

Однако необходимо сказать и о недостатках преобразований Фурье. Используя преобразование Фурье, исследователь может работать с рядом данных или во временной области, или в частотной. Одновременно получить частотно-временное представление, используя классический алгоритм преобразования Фурье, невозможно, т. е. отсутствует возможность получения информации о том, какие частоты присутствуют в сигнале в данный момент времени. Также преобразование Фурье может быть представлено только гармоническими функциями – синусами или косинусами. Зачастую данные функции не способны отображать перепады сигналов (разрывы, ступеньки, пики), например, прямоугольных импульсов, дают едва заметные составляющие спектра, по которым обнаружить эти особенности, их место и характер практически невозможно. В таком случае и невозможно достоверно восстановить сигнал, после, например, удаления ненужных импульсов, часто называемых «шумом». Таким образом, преобразование Фурье может лишь дать информацию о том, какие частоты находятся в спектре сигнала, но не может ответить на вопрос, каково время существования спектральных составляющих сигнала. Для временной локализации спектральных компонентов необходимо сконструировать частотно-временное представление сигнала. Эту задачу в некоторой степени решает оконное преобразование Фурье [78, 79].

При применении оконного преобразования Фурье (далее – ОПФ) используется движущаяся вдоль независимой переменной (пространство или



время) оконная функция. Ширина окна выбирается в несколько раз меньше общей длительности сигнала. Временной интервал сигнала делится на интервалы и преобразование Фурье выполняется последовательно для каждого подынтервала в отдельности. Так осуществляется переход к частотно-временному представлению сигналов. Результатом ОПФ является семейство спектров, с помощью которого отображается изменение спектра сигнала по интервалам сдвига окна преобразования. Ширина окна обычно устанавливается соизмеримой с длительностями особенностей сигнала [79]. Также ОПФ получило название кратковременное преобразование Фурье (Short Time Fourier Transform или STFT) [80]. Формула для кратковременного преобразования Фурье приведена ниже:

$$S(\omega, b_k) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t)w^*(t-b_k)e^{-i\omega t} dt, \quad (1.18)$$

где  $w^*(t-b_k)$  – комплексная функция сдвига преобразования по координате  $t$ ;

$\omega$  – частота;

$b_k$  – фиксированные значения сдвига;

$f(t)$  – исследуемый сигнал.

Очевидно, что кратковременное преобразование Фурье является функцией двух переменных – частоты и времени, что и дает представление сигнала уже в частотно-временной области, а не просто в частотной. Для каждого положения окна на временной оси сигнала вычисляется свой комплексный спектр, при этом ширина оконной функции сохраняется постоянной [80, 81].

Однако и у ОПФ есть свои недостатки, формулировка которых следует из принципа Гейзенберга. Этот принцип гласит, что невозможно получить произвольно точное частотно-временное представление сигнала, т. е. нельзя определить для какого-то момента времени, какие спектральные компоненты присутствуют в сигнале. Единственное, что можно узнать, это временные интервалы, в течение которых в сигнале существуют полосы частот. Данная проблемы является проблемой разрешения [72]. При обычном преобразовании Фурье проблем с разрешением не возникает, т. к. значение сигнала можно легко определить в каждый момент времени. Сама исследуемая функция в

преобразовании Фурье простирается от значений «минус бесконечность» до «плюс бесконечность», а при ОПФ окно имеет конечную длину, при этом всегда фиксированную. Чем уже окно, тем лучше временное расширение и хуже частотное, и наоборот [73, 81]. Именно поэтому очевидным выходом могут стать преобразования с переменным разрешением, называемые вейвлет-преобразованиями [83- 85].

По аналогии с Фурье-преобразованием вейвлет-преобразование является точно таким же разложением сигнала в ряд базисных элементов, умноженных на определенные коэффициенты. Только в случае с вейвлет-преобразованием такой базисной функцией ряда в этом случае является не гармоника, а вейвлет.

Само понятие «вейвлет» было введено в статье А. Гроссмана и Ж. Морле в середине 80-х годов XX века в связи с анализом свойств сейсмических и акустических сигналов. Их работа послужила толчком к новым исследованиям вейвлетов, проведенным рядом ученых, таких как Добеши, Мейер, Малл, Фарж, Чуи и др. Английское слово «wavelet» (от французского «ondelette») дословно переводится как «короткая (маленькая) волна». В различных переводах зарубежных статей на русский язык встречаются еще термины: «всплеск», «всплесковая функция», «маловолновая функция», «волночка» и др. [78, 80, 82, 86].

В России работы по применению вейлет-преобразований появились намного позже и носили в основном обзорный характер. Только сравнительно недавно интерес к практическому применению вейвлетов значительно возрос. Анализу различных явлений и процессов с помощью вейвлет-преобразований посвящено много научных трудов [86-99], в том числе в области исследования социальных процессов [91], в области изучения структуры сигналов в радиоэлектронике [92, 93], в области производственных процессов, например, для прогнозирования случаев травматизма [94], в области прогнозирования климатических и погодных условий, исследования сейсмических воздействий [89, 95, 97], для прогнозирования технологических характеристик промышленного производства [96], а также в области медицины для выявления различных

отклонений, происходящих в организме человека, при обработке цифровых изображений, в областях физики, химии и т. д. Однако, в области анализа и прогнозирования различных характеристик строительного процесса вейвлет-преобразования не нашли широкого применения.

Стоит также отметить, что подтверждением значимости применения вейвлет-преобразований является и тот факт, что алгоритмы вейвлет-преобразований на сегодняшний день широко распространены в различных математических компьютерных программах, таких как Mathcad, MATLAB, Mathematica.

Среди достоинств вейвлет-преобразований можно отметить следующие: вейвлет-преобразования обладают всеми плюсами преобразования Фурье, могут быть локализованы как по времени, так и по частоте, в отличие от преобразования Фурье имеют большое количество различных базовых функций, свойства которых позволяют решать различные задачи [85, 98]. К минусам вейвлет-преобразований можно отнести их относительную сложность [86, 98]. Перечисляя достоинства вейвлет-преобразований, следует отметить, что данный вид анализа не всегда может заменить анализ с помощью преобразования Фурье. Применение преобразования Фурье очень наглядно, все необходимые свойства и формулы описываются с помощью всего двух функций: синуса и косинуса. Многие теоремы вейвлет-преобразований доказываются с помощью преобразования Фурье. К тому же преобразование Фурье намного проще для реализации, чем вейвлет-преобразование. Поэтому эти аппараты математического анализа должны дополнять, а не исключать друг друга.

В общем виде формула вейвлет-преобразования представлена ниже:

$$\psi_{ab}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right), \quad (1.19)$$

где  $\psi_{ab}(t)$  – вейвлет, определяемый для заданных параметров  $a$  и  $b$ , порождаемый материнским исходным вейвлетом  $\psi(t)$ ;

$b$  – параметр сдвига во времени;

$a$  – параметр изменения временного масштаба;

$1/a^{1/2}$  – множитель, обеспечивающий независимость нормы функций от масштабирующего значения  $a$ .

Малые значения  $a$  соответствуют мелкому масштабу  $\psi_{ab}(t)$  или высоким частотам, где  $\omega \sim 1/a$ . Большие значения параметра  $a$  соответствуют крупному масштабу  $\psi_{ab}(t)$  и низким частотам. За счет изменения масштаба вейвлеты способны выявлять различие в характеристиках на разных частотах, а за счет сдвига проанализировать свойства сигнала в разных точках на всем исследуемом интервале. Поэтому при анализе сигналов (рядов данных) за счет свойства вейвлет-преобразования получают существенное преимущество перед преобразованием Фурье, которое дает только глобальные сведения о частотах анализируемого сигнала, так как используемая при этом система функций определена на бесконечном интервале. Многие исследователи называют вейвлет-анализ «математическим микроскопом». Это название отражает свойства метода сохранять хорошее разрешение на разных масштабах. Параметр сдвига  $b$  фиксирует точку фокусировки «микроскопа», масштабный коэффициент  $a$  фиксирует увеличение. Выбор материнского вейвлета  $\psi(t)$  определяет оптические качества «микроскопа» [80-83].

На рисунке 1.10 представлена структура представления сигнала при вейвлет-преобразовании – рисунок (а) и при ОПФ – рисунок (б). Вейвлет-преобразование отличается более сложной и гибкой структурой обработки, а при ОПФ используется фиксированное окно, т. е. фиксированное разрешение по времени по времени и частоте для всех точек, находящихся в плоскости.

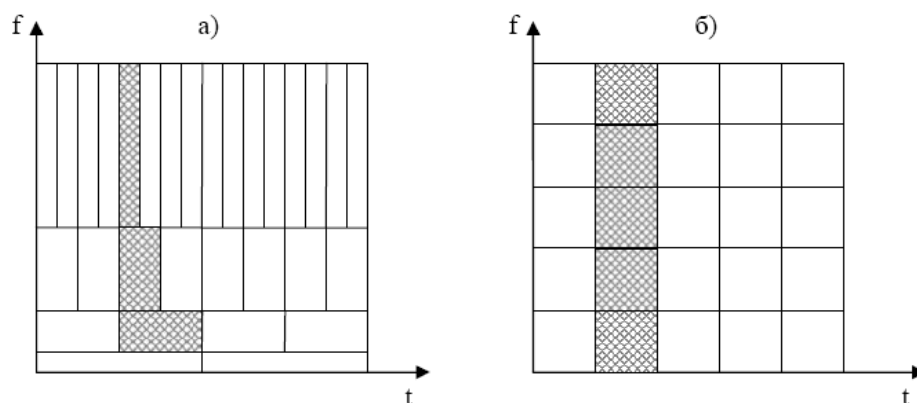


Рисунок 1.10 – Структура представления сигнала: а) вейвлет-преобразование; б) ОПФ

Стоит также отметить, что большинство типов вейвлетов не имеют аналитического описания в виде одной формулы, а задаются итерационными выражениями, легко вычисляемыми с помощью компьютерных программ. Примером таких вейвлетов являются функции Добеши (Daubechies), одна из которых (db4) используется в качестве встроенной для вейвлет-преобразования в программе Mathcad [83-85]. Выбор конкретного материнского вейвлета целиком зависит от характера поставленной задачи и от конкретного анализируемого ряда данных. Разные сигналы удастся анализировать тем или иным способом, и критерием успеха обычно служит простота получаемого разложения. Каждый материнский вейвлет имеет характерные особенности во временном и частотном пространстве, поэтому иногда с помощью разных вейвлетов можно полнее выявить и подчеркнуть те или иные свойства сигнала. Надо также учитывать, что вейвлет-коэффициенты содержат информацию не только о сигнале, но и о вейвлете [78, 80, 82].

Необходимо отметить несколько главных свойств вейвлетов [82, 85, 99]:

1. *Ограниченность.* Квадрат нормы функции должен быть конечным:

$$\|\psi\|^2 = \int_{-\infty}^{+\infty} |\psi(t)|^2 dt < \infty \quad (1.20)$$

2. *Локализация.* Вейвлет должен быть локализован во временном пространстве и по частоте.

3. *Нулевое среднее.* График исходной функции должен осциллировать (быть знакопеременным) вокруг нуля на оси времени и иметь нулевую площадь:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} \psi(t) dt = 0 \quad (1.21)$$

Часто оказывается необходимым, чтобы не только нулевой, но и все первые  $n$  моментов были равны нулю:

$$\int_{-\infty}^{+\infty} t^n \psi(t) dt = 0 \quad (1.22)$$

4. *Самоподобие*. Все вейвлеты определенного семейства  $\psi_{ab}(t)$  имеют то же число осцилляций, что и материнский вейвлет  $\psi(t)$ , поскольку получены из него посредством масштабных преобразований с помощью параметра  $a$  и сдвига  $b$ .

В данной работе для исследования локальных свойств функции изменения средних объемов работ были применены следующие вейвлет-преобразования:

- непрерывное вейлет-преобразование (ContinuousWaveletTransform или CWT);
- дискретное вейлет-преобразование (DiscreteWaveletTransform или DWT).

Непрерывное вейвлет-преобразование может быть прямым и обратным. Прямое непрерывное вейвлет-преобразование определяется по формуле (1.23), обратное непрерывное вейвлет-преобразование определяется по формуле (1.24).

$$W_S(a, b) = (f(t), \psi_{ab}(t)) = \frac{1}{\sqrt{a}} \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) dt \quad (1.23)$$

$$f(t) = \frac{1}{C_\psi} \int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} W_S(a, b) \psi_{ab}(t) \frac{dad b}{a^2}, \quad (1.24)$$

где  $C_\psi$  – нормирующий коэффициент:

$$C_\psi = \int_{-\infty}^{+\infty} |\Psi(\omega)|^2 |\omega|^{-1} d\omega < \infty, \quad (1.25)$$

где  $(\cdot, \cdot)$  – скалярное произведение соответствующих сомножителей,

$\Psi(\omega)$  – фурье-преобразование вейвлета  $\psi(t)$ .

Вейвлет-спектр  $W_s(a, b)$  или масштабно-временной спектр является функцией двух аргументов – временного масштаба  $a$ , обратного частоте, и смещения сигнала по оси времени  $b$ . Спектр  $W_s(a, b)$  является поверхностью в трехмерном пространстве. Однако, как правило, вместо изображения поверхности представляют ее проекцию на плоскость  $ab$ . Также дополнительно можно проанализировать картины линий локальных экстремумов (максимумов) этих поверхностей, так называемый скелетон, который помогает выявить структуры анализируемого исходного сигнала [85].

Теперь рассмотрим анализ функции изменения средних объемов работ с помощью дискретного вейвлет-преобразования.

При непрерывном изменении параметров  $a$  и  $b$  для расчета вейвлет-спектра необходимы большие вычислительные затраты. Множество функций  $\psi_{ab}(t)$  избыточно, в связи с чем необходима дискретизация этих параметров при сохранении возможности восстановления сигнала из его преобразования. Дискретизация, как правило, осуществляется через степени двойки [78, 80, 82].

Пусть  $a=2^m$ ,  $b=k \cdot 2^m$ , тогда выражение (1.19) примет следующий вид:

$$\psi_{mk}(t) = \frac{1}{\sqrt{a}} \psi\left(\frac{t-b}{a}\right) = \frac{1}{\sqrt{2^m}} \psi(2^{-m}t - k), \quad (1.26)$$

где  $m$  и  $k$  – целые числа.

При этом ранее рассмотренная плоскость  $ab$  превращается в соответствующую сетку  $m, k$ . Прямое и обратное вейвлет-преобразования будут определяться по формулам 1.27 и 1.28 соответственно:

$$c_{mk} = (f(t), \psi_{mk}(t)) = \int_{-\infty}^{+\infty} f(t) \psi_{mk}(t) dt, \quad (1.27)$$

$$f(t) = \sum_{m,k} c_{mk} \psi_{mk}(t) \quad (1.28)$$

Проводя аналогию с преобразованием Фурье, коэффициенты  $c_{mk}$  можно определить через непрерывное вейвлет-преобразование  $W_s(a, b)$  [85]:

$$c_{mk} = W(2^m, k \cdot 2^m) \quad (1.29)$$

Таким образом, из формулы (1.28) видно, что исходный сигнал  $f(t)$  может быть представлен в виде суммы «вейвлетных волн» с определенными коэффициентами  $c_{mk}$ , что по аналогии соответствует разложению исходного сигнала на различные гармоники в преобразовании Фурье. Коэффициенты  $c_{mk}$  по аналогии с БПФ могут быть вычислены с помощью быстрого вейвлет-преобразования (далее – БВП). Число операций умножения при прямом БВП равен  $2LN$ , где  $L=2n$ , что даже меньше числа операций для БПФ [80, 82].

### **Выводы по первой главе**

1. Задача повышения ОТН строительной системы является весьма сложной и требует всестороннего рассмотрения факторов, влияющих на нее. Актуальность вопроса повышения ОТН в строительстве также подтверждается проведенным кратким обзором замечаний со стороны Службы строительного надзора и экспертизы к качеству строительной продукции.

2. Вопрос повышения квалификации строительных кадров на сегодняшний день является одним из приоритетных, в настоящее время ведется разработка профессиональных стандартов в различных отраслях, в том числе и строительной. Через повышение квалификации строительных кадров повышается и качество строительной продукции, а, следовательно, увеличивается ОТН строительных процессов.

3. В настоящее время существуют различные математические методы анализа временных рядов, в виде которых могут быть представлены результаты строительства – например, временной ряд может быть сформирован из значений ежедневных объемов выполненных работ. Актуальность использования различных математических алгоритмов подтверждается наличием современного программно-вычислительного обеспечения, широко распространенного и доступного в наше время. Однако многие математические методики и алгоритмы не нашли своего применения в строительной отрасли.



## **Глава 2. Определение эффективности технологических процессов монолитного домостроения**

### **2.1. Исследование организации труда рабочих на примере монолитного домостроения**

Успешная реализация строительного проекта невозможна без продуманной организации труда рабочих, включающей в себя подбор персонала, обладающего необходимой квалификацией и практическими навыками для выполнения определенных строительного-монтажных работ, формирование строительной бригады, составление графика выполнения работ, установку нормы выработки и сроков строительства.

Эффективные методы организации труда рабочих на строительной площадке должны обеспечивать следующие показатели:

- наиболее полное и эффективное (беспростойное) использование рабочего времени каждого работника;
- наиболее полное и эффективное использование материальных ресурсов и средств механизации;
- повышение качества строительной продукции;
- обеспечение роста производительности труда (выработки).

Наиболее распространенной формой организации труда рабочих является бригада. Бригада представляет собой коллектив рабочих, различных или одинаковых специальностей, квалификаций, совместно выполняющих определенное задание на строительной площадке [100].

Бригады могут быть специализированными и комплексными. Специализированные бригады в основном состоят из рабочих одной специальности или смежных, при этом такой вид бригад используется для выполнения работ, включающих в себя выполнение однородных процессов. Комплексные бригады объединяют 50-60 рабочих различных профессий и специальностей. Такие бригады выполняют более значительный объем разнородных работ [1, 101].

Монолитное домостроение является одним из ведущих направлений в современном строительстве. Изучению особенностей монолитного домостроения посвящены работы [102-107].

Монолитное домостроение имеет ряд преимуществ по сравнению с другими способами возведения объектов [104, 108-110]:

- срок службы зданий и сооружений из монолитного железобетона составляет 100 – 150 лет;
- здания и сооружения из монолитного железобетона могут выдерживать землетрясение силой до 9 баллов;
- высокая конструктивная жесткость и прочность конструкций;
- снижение расхода материалов (бетона и стали) за счет более полного использования преимуществ неразрезных систем;
- отсутствие стыков конструкций;
- разнообразие объемно-планировочных решений.

В работе [107, 111] отмечается, что также очень важно постоянная подготовка и повышение квалификации строительных кадров, современное и передовое оснащение строительной площадки, для дальнейшего совершенствования строительных процессов в монолитном домостроении. Можно выделить следующие факторы, способствующие быстрому темпу возведения зданий из монолитного железобетона:

- строительство, ведущееся высококвалифицированными бригадами;
- применение поточного метода строительства;
- проведение предварительного обучения рабочих технологиям строительных работ;
- использование инновационной техники и технологий [107, 111].

В настоящее время строительство из монолитного железобетона является наиболее популярным во многих странах [1, 107, 111]. Процент монолитного домостроения от общего объема строительной продукции разных стран приведен в таблице 2.1.

Таблица 2.1 – Монолитное домостроение в различных странах

Страна	Доля использования монолитного железобетона в строительстве, %	Доля использования монолитного железобетона при возведении жилых домов, %
США	74	63
Германия	64	62
Франция	86	90

В России активное развитие монолитного строительства началось в 90-е годы. В это время объем монолитного домостроения составлял около 60%, в настоящее время этот объем вырос примерно до 70% [107, 111]. Причинами массового перехода к монолитному домостроению послужили как физический износ объектов из сборного железобетона, так и появление на российском рынке зарубежных компаний, хорошо владеющих технологиями монолитного строительства и необходимым техническим обеспечением. Монолитное строительство прочно зарекомендовало себя, показав ряд технико-экономических преимуществ, в т. ч. уменьшение расхода металла, сокращение трудоемкости работ по сравнению с кирпичным, крупноблочным и крупнопанельным строительством [103, 105, 112].

Строительные работы при возведении типового монолитного этажа можно условно разбить на следующие этапы [108, 112]:

1. установка арматурных каркасов и сеток, вязка арматуры отдельными стержнями;
2. монтаж опалубки стен, колонн;
3. бетонирование стен;
4. прогрев бетона, контроль за набором прочности бетона стен;
5. разборка опалубки стен;
6. монтаж опалубки перекрытия и установка арматурных каркасов и сеток, вязка арматуры отдельными стержнями;
7. бетонирование перекрытия;
8. прогрев бетона, контроль за набором прочности бетона перекрытия;

## 9. разборка опалубки перекрытия.

При этом, если учесть, что общая трудоемкость выполняемых работ составляет 100%, то трудозатраты на монтаж/разборку опалубки составляют от 45% до 65%, на установку арматурных каркасов – от 15% до 25%, на бетонирование – от 20% до 30% [108].

Рассмотрим две комплексные бригады, выполняющие строительство двух типовых монолитных домов. Были собраны статистические данные о 107 рабочих из двух бригад, работающих на разных типовых объектах, условно назовем их объект А и объект Б. Собранные статистические данные включают в себя информацию о возрасте рабочих, их профессиональном стаже, уровне квалификации (разряде) и профессии. Стоит отметить, что строящиеся объекты А и Б являются типовыми объектами, входящими в состав единого жилого комплекса. Соответственно, такие показатели, как ежедневная норма выработки, время выполнения работ, устанавливаются приблизительно одинаковыми для двух объектов.

На рисунках 2.1 и 2.2 показаны гистограммы распределения разрядов по профессиям и количество людей в каждой категории для объекта А и объекта Б.

Анализируя гистограммы можно отметить большую разницу между объектами А и Б в количестве рабочих арматурщиков и подсобных рабочих. Также рабочие профессий арматурщик, бетонщик, монтажник, плотник имеют различные разряды на объекте А и на объекте Б. Так, например, на объекте Б работают 13 арматурщиков, 8 из которых имеют 2-й разряд и 5 рабочих 3-й, в то время как на объекте А задействованы 9 арматурщиков, 8 из которых имеют 2-й разряд и 1 арматурщик 5-й. Можно ли допустить, что работа 1 арматурщика 5-го разряда сопоставима с работой 5 арматурщиков 3-го разряда? Для ответа на этот вопрос необходим более детальный анализ работы каждого рабочего, с учетом его интенсивности труда и выработки.

Интересна ситуация с монтажниками: на объекте Б работают монтажники 2-го, 3-го, 4-го, 5-го разрядов в количестве 13 человек; на объекте А 3-го и 4-го

разрядов в количестве 17 человек. При этом количество монтажников 4-го разряда на объекте А почти в 7 раз больше, чем на объекте Б.

*Гистограмма разрядов и профессий*

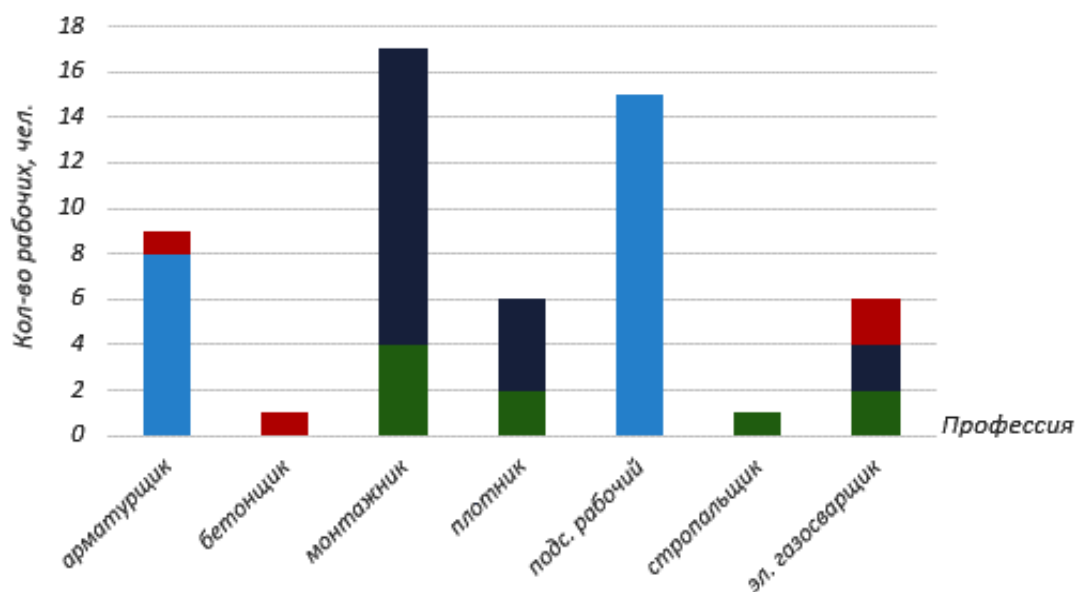


Рисунок 2.1 – Распределения разрядов по профессиям на объекте А

*Гистограмма разрядов и профессий*

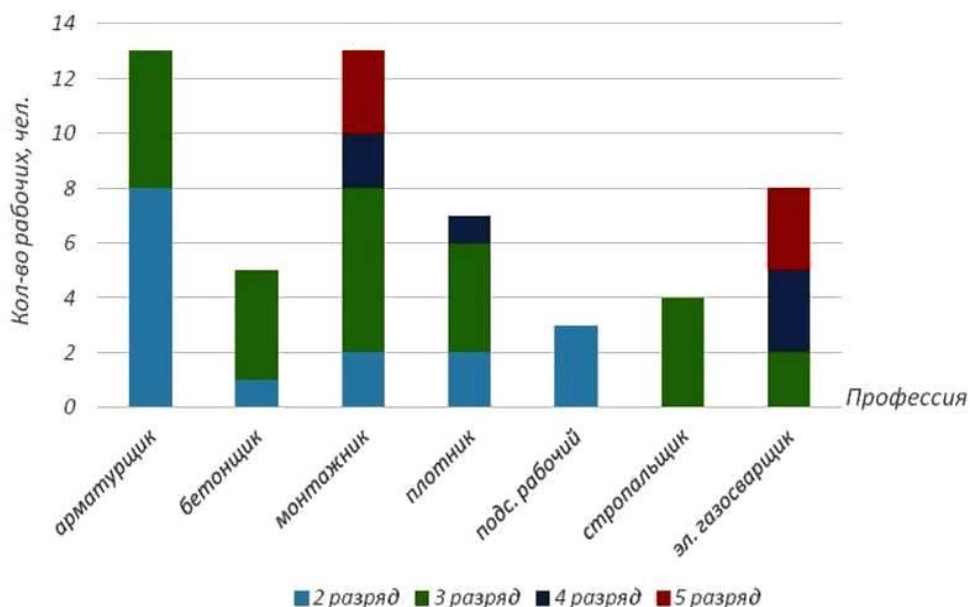


Рисунок 2.2 – Распределения разрядов по профессиям на объекте Б

Следует отметить, что из 15 рабочих, официально принятых на работу в качестве подсобных рабочих на объект А, фактически подсобными рабочими

работают только три человека. Остальные работают в качестве арматурщиков (5 человек), плотников (4 человека) и стропальщиков (3 человека). Учитывая этот факт гистограмма для объекта А изменится (рисунок 2.3). Поскольку рабочие не имеют официально присвоенного разряда по вышеуказанным специальностям, то условно присваиваем им 2-ой разряд. Изменив гистограмму объекта А можно проследить очевидную аналогию в распределении количества рабочих по профессиям по отношению к гистограмме объекта Б на рисунке 2.1.

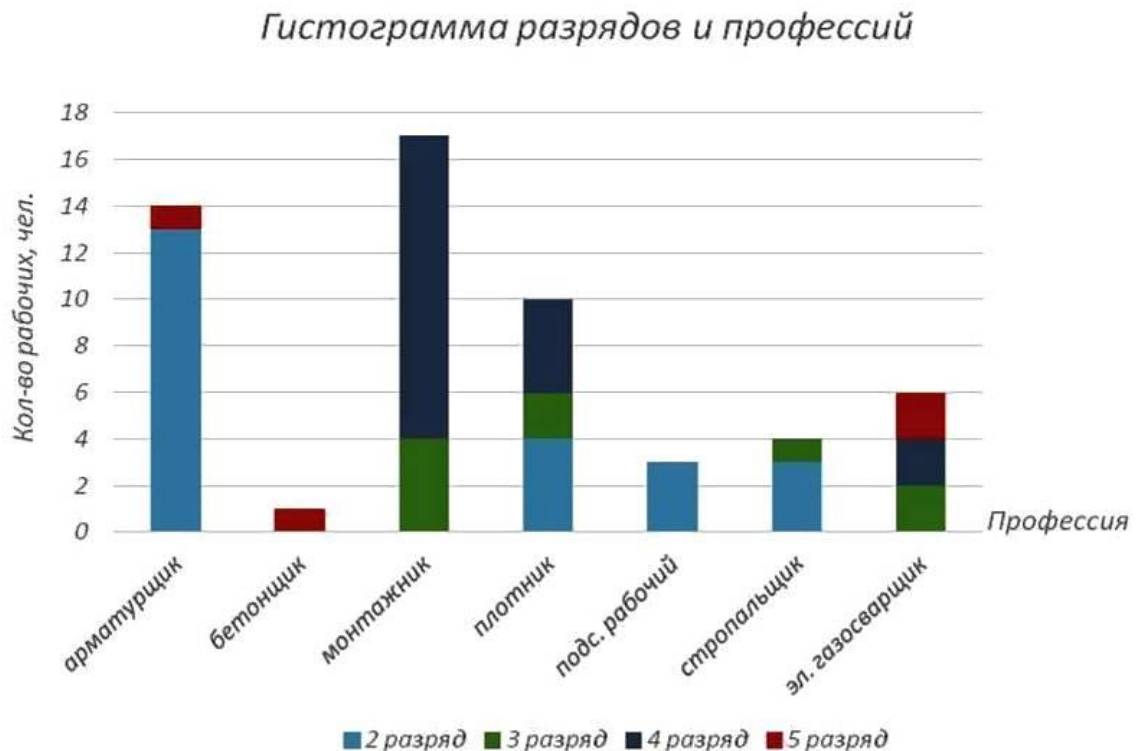


Рисунок 2.3 – Распределения разрядов по профессиям на объекте А

Проанализируем возраст рабочих и их профессиональный стаж (рисунок 2.4, 2.5). Для обоих рисунков по оси абсцисс представлено количество рабочих в процентах. Например, параметру «опыт работы от 20 лет» соответствует 11 рабочих на объекте А, т. е. 20% от общего числа рабочих – 55 человек, принимаемых за 100%.

Анализируя линейные диаграммы, представленные на рисунках 2.4 и 2.5 можно отметить взаимосвязь между параметрами «опыт работы от 20 лет» и «возраст рабочих от 45 лет». Например, для объекта А; максимальный опыт работы рабочего составил 38 лет, таким опытом обладал рабочий в возрасте 59

лет. Также можно сделать вывод, что самый большой процент рабочих с опытом работы от 5 до 9 лет, возраст рабочих преимущественно находится в диапазоне от 30 до 39 лет.

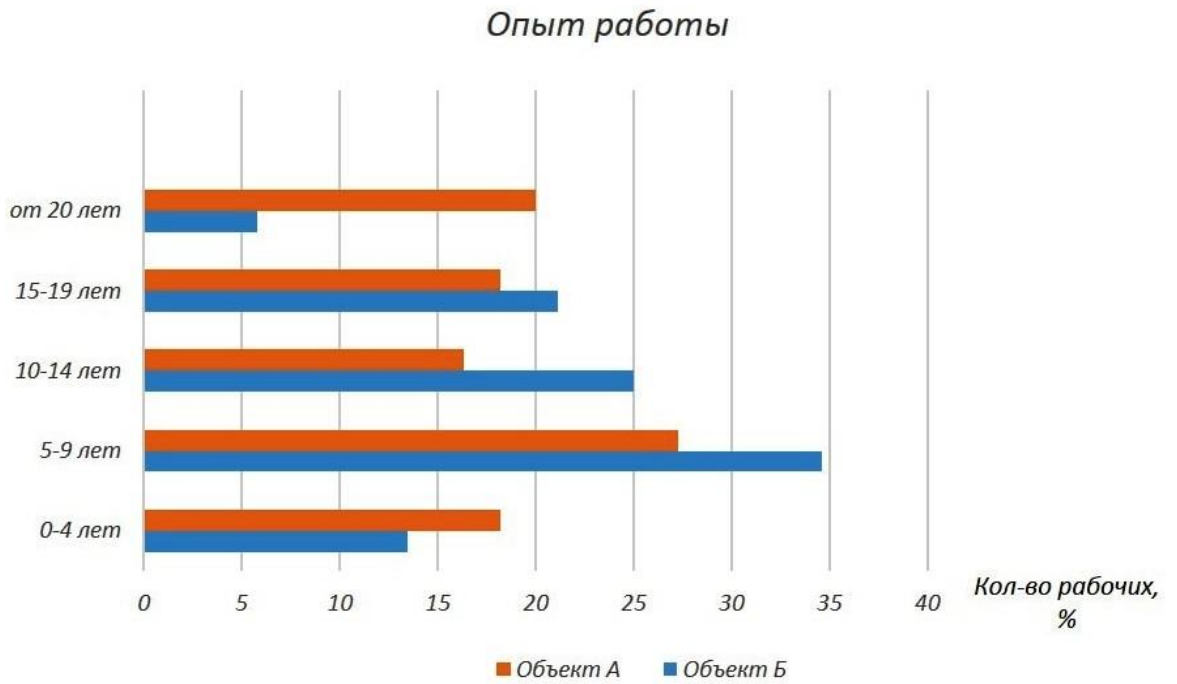


Рисунок 2.4 – Опыт рабочих в строительстве на объекте А и Б

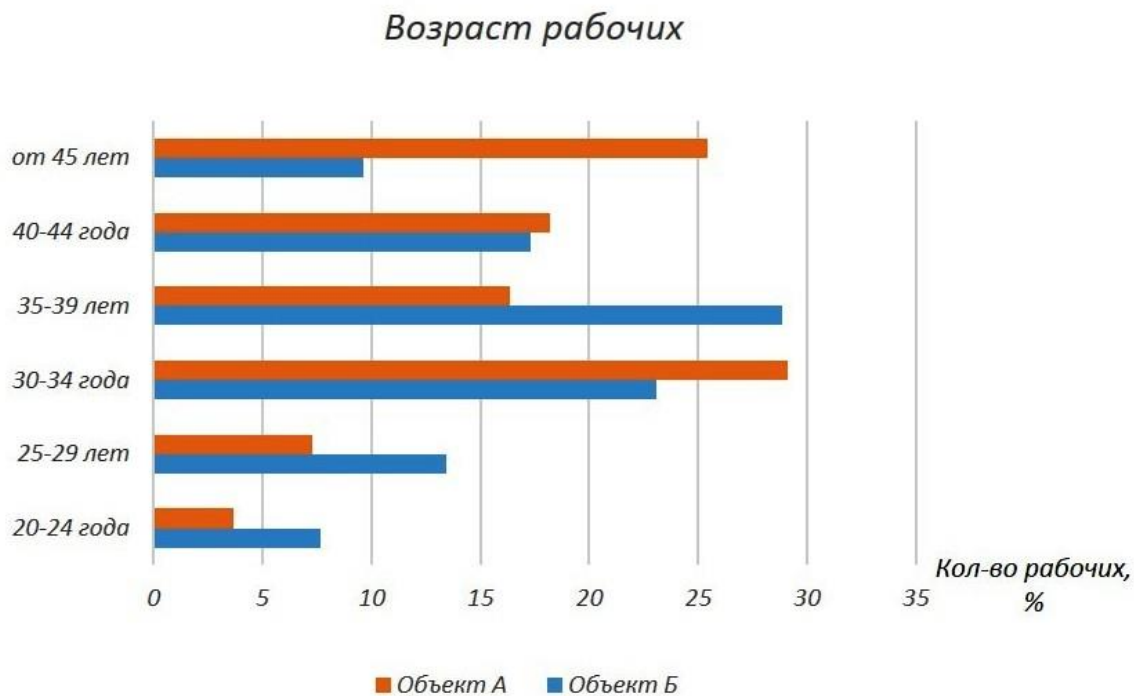


Рисунок 2.5 – Возраст рабочих на объекте А и Б

Рассмотрим процесс производства работ по возведению одного типового этажа. Проектом предусмотрено, что один типовой этаж должен возводиться в течение одного месяца, что соответствует приблизительно 1200 куб.м забетонированных конструкций. При возведении монолитных конструкций ведущим процессом является бетонирование. Устройство опалубки и армирование тесно взаимосвязаны с бетонированием конструкций. Для обеспечения ритмичности потока при разной трудоемкости различных процессов принимают одинаковую продолжительность работ по бетонированию конструкций при различном численном составе звеньев [108].

Типовой этаж можно условно разбить на 5 участков или захваток (рисунок 2.6). Каждая комплексная бригада работает в две смены с основным графиком работы два через два дня по 12 часов. При этом бетонирование конструкций выполняется только в первую (дневную) смену. Во вторую смену работают в среднем 4 монтажника и 1 стропальщик. Во вторую смену ведутся работы по установке/разборке опалубки. Также предусмотрено, что для прогрева бетона стен и колонн достаточно суток, для прогрева бетона плиты перекрытия – трое или четверо суток. Установка опалубки для каждого участка плиты перекрытия производится от трех до шести дней. Установка опалубки стен и колонн производится за день или два до ее бетонирования. После бетонирования участка плиты перекрытия до возвращения на этот участок рабочих для установки опалубки стен проходит 6-7 суток. За этого время бетон набирает прочность 70% [108, 110, 112].

Рассчитаем объемы и трудоемкости работ для возведения одного типового этажа дома. Для проведения расчета используем ЕНиР Е4 выпуск 1 «Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций» [113]. Перечень основных работ, их объемы и результаты расчета трудоемкостей работ приведены в Приложении А.

Общая трудоемкость работ по возведению одного типового этажа монолитного дома, при продолжительности смены в 12 часов, составила 685,9 чел.-ч.; общий объем забетонированных конструкций – 1118,44 куб. м.



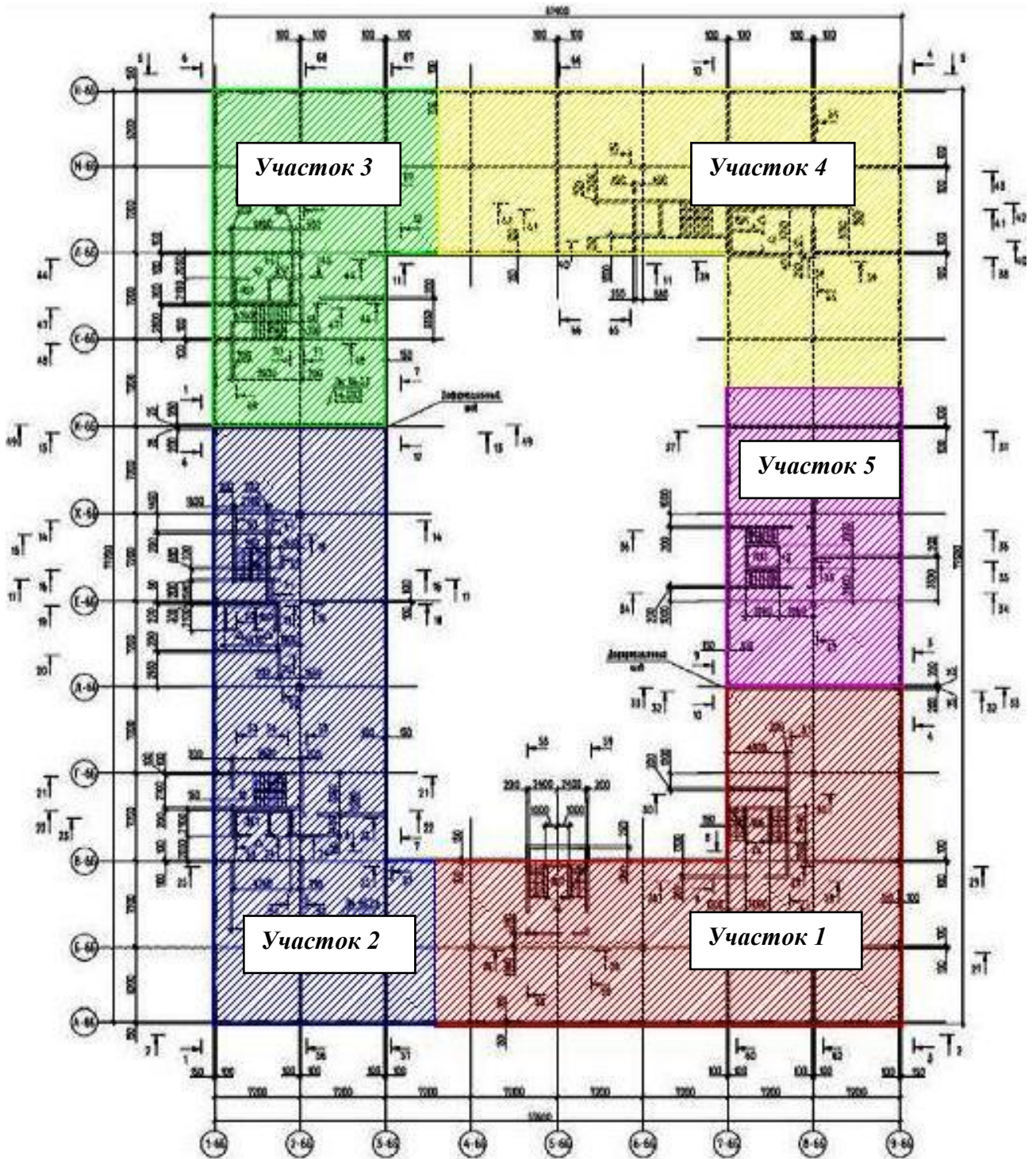


Рисунок 2.6 – Разбивка типового этажа на участки (захватки)

Рассчитаем ориентировочный состав бригады. Ведущим механизмом является кран, но поскольку его трудоемкость очень мала, ориентируемся на трудоемкости основных звеньев. Определим время работы каждого звена:

- $t_{\text{арматуристки}} = (52,47 + 1,92 + 8,38 + 6,86 + 40,25 + 2,25 + 24,48 + 23,52) / 3 = 54$  дня;
- $t_{\text{бетонщики}} = 17$  дней;

- $t_{слесари} = 53$  дня;
- $t_{плотники} = 113$  дней;
- $t_{электромонтеры} = 30,4$  дней.

Фактически на объекте установкой и разборкой опалубки занимаются четверо монтажников, работающих во вторую (ночную) смену. Учитывая то, что время возведения одного этажа не должно превышать 30 дней, принимаем следующий состав бригады:

- машинист крана 6 разряда – 1;
- монтажник 4 разряда– 2;
- монтажник 3 разряда– 2;
- монтажник 2разряда– 3;
- арматурщик 4 разряда– 1;
- арматурщик 3 разряда– 2;
- арматурщик 2разряда– 3;
- бетонщик 4 разряда– 1;
- бетонщик 2разряда– 1;
- электромонтер 5разряда– 1;
- электромонтер 3 разряда– 2;
- плотник-слесарь 4 разряда– 1;
- плотник-слесарь 3разряда– 2;
- плотник-слесарь 2разряда– 2.

Итого в основном составе бригады – 23 человека и машинист крана. Фрагмент графика производства работ по участкам за октябрь одной бригадой представлен на рисунке 2.7.

Таким образом, для возведения типового этажа монолитного дома за 1 месяц (30 дней) необходимо, чтобы на объекте ежедневно работало 23 человека (с учетом дневной и ночной смен), а для выполнения ежемесячной нормы в 1200 куб. м необходимо, чтобы ежедневно на объекте работало 25 человек (с учетом дневной и ночной смен).

Раб. уч.	Элемент	Наименование процесса	октябрь																						
			1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
Участок 5 (3 этаж)	Стены	Опалубка, армирование	■																						
		Бетонирование		■																					
		Прогрев		■																					
		Разборка опалубки			■																				
	Перекры.	Опалубка, армирование							■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Бетонирование										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Прогрев										■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Разборка опалубки											■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Участок 1 (4 этаж)	Стены	Опалубка, армирование	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	
		Бетонирование		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Прогрев		■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
		Разборка опалубки			■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
	Перекры.	Опалубка, армирование																							
		Бетонирование																							
		Прогрев																							
		Разборка опалубки																							
Участок 2 (4 этаж)	Стены	Опалубка, армирование																							
		Бетонирование																							
		Прогрев																							
		Разборка опалубки																							
	Перекры.	Опалубка, армирование																							
		Бетонирование, выдерживание																							
		Прогрев																							
		Разборка опалубки																							
Участок 3 (4 этаж)	Стены	Опалубка, армирование																							
		Бетонирование																							
		Прогрев																							
		Разборка опалубки																							
	Перекры.	Опалубка, армирование																							
		Бетонирование																							
		Прогрев																							
		Разборка опалубки																							
Участок 4 (4 этаж)	Стены	Опалубка, армирование																							
		Бетонирование																							
		Прогрев																							
		Разборка опалубки																							
	Перекры.	Опалубка, армирование																							
		Бетонирование																							
		Прогрев																							
		Разборка опалубки																							
		Итого объем (куб. м)	14,6	26,2	13,2	10,5	24,8	11,6	167,0	21,0	10,5	98,0	14,2	8,5	115,8	20,0	19,3	13,1	160,0	16,4	13,2	13,2	100,8	20,2	19,4
	Объем накопительным итогом (куб. м)	14,6	40,8	54,0	64,5	89,3	100,9	267,9	288,9	299,4	397,4	411,6	420,1	535,9	555,9	575,2	588,3	748,3	764,7	777,9	791,1	891,9	912,1	931,5	

Рисунок 2.7 – График производства работ по возведению типового этажа за октябрь (фрагмент)

На основании таблиц учета рабочего времени за октябрь, ноябрь, декабрь и январь построены фактические графики движения рабочих на объектах А и Б (Приложение Б). Графики движения рабочих за октябрь для каждой бригады представлены на рисунках 2.8 и 2.9 в виде столбчатых гистограмм. Из графиков очевидна неравномерность движения рабочих, а также цикличность изменений в графике движения рабочих для объектов А и Б на двух последних неделях месяца. Неравномерность движения рабочих в свою очередь может влиять на объемы выполненных работ (невыполнение заданных объемов работ при нехватке рабочих), и срыв сроков строительства.



Рисунок 2.8 – Объект А



Рисунок 2.9 – Объект Б

Поскольку график движения рабочих является определенным мерилom и оценкой для календарного плана выполнения работ, рассчитаем коэффициенты неравномерности движения рабочих  $R$  по формуле (2.1) для каждой бригады и каждого месяца работы [1, 112]. Результаты расчетов представлены в таблице 2.2.

$$R = \frac{N_{\max}}{N_{\text{cp}}}, \quad (2.1)$$

где  $N_{\max}$  – максимальное количество рабочих в смену;

$N_{\text{cp}}$  – среднее количество рабочих в смену;

$$N_{\text{cp}} = \frac{Q}{T}, \quad (2.2)$$

где  $Q$  – суммарные трудозатраты;

$T$  – продолжительность строительства.

Таблица 2.2 – Коэффициенты неравномерности движения рабочих

<i>Бригада</i>	<i>Месяц</i>	<i>Максимальное количество рабочих в смену</i>	<i>Коэффициент неравномерности движения рабочих</i>
<b>А</b>	октябрь (31 день)	36	1,6
	ноябрь (30 дней)	36	1,6
	декабрь (29 дней)	41	1,7
	январь (29 дней)	35	1,5
<b>Б</b>	октябрь (31 день)	31	1,4
	ноябрь (30 дней)	30	1,3
	декабрь (29 дней)	38	1,6
	январь (29 дней)	38	1,6

Во второй графе таблицы 2.2 в каждом месяце указано количество рабочих дней, за исключением праздничных дней. Оптимальным считается значения коэффициента неравномерности движения работы  $R < 1,5$ . В целом, представленные в таблице 2.2 значения коэффициентов не являются критичными, отклонения от значения 1,5 невелики и наблюдаются в пяти случаях их восьми.

Для полной и оптимальной корректировки календарных планов объекта А и объекта Б необходимо всестороннее рассмотрение факторов, воздействующих на ход строительства. Из анализа данных видно, насколько сильно могут различаться качественный и количественный состав бригад, работающих на двух типовых

объектах. Необходим подробный анализ ежедневно работающих звеньев рабочих, при этом при различных комбинациях состава рабочего звена объемы и время выполнения работ могут быть различны. Исследование организации труда рабочих также является важной частью работ, направленных на оптимизацию календарного плана и графика движения рабочих.

## **2.2. Ресурсная оптимизация строительных потоков на основе математического моделирования квалификации рабочих**

Отсутствие в настоящее время единых подходов к оценке квалификации специалистов вынуждает строительные организации решать данную задачу собственными силами. Основная сложность оценки квалификации рабочего заключается в выборе методов, предназначенных для её выполнения, т.к. неверно выполненный выбор метода может свести к минимуму результативность проводимой оценки квалификации. Выбор методов оценки квалификации необходимо выполнять с учётом индивидуальных особенностей специальности рабочего и предъявляемых предприятием к ней требованиям.

Результаты строительного процесса можно определить через оценку конечного результата, который описывается определенным набором количественных показателей, таких как своевременная поставка сырья и оборудования на строительную площадку, погодные условия, технологические процессы, требуемый уровень квалификации персонала. Требуемые показатели результатов строительства, в т. ч. завершение строительства в определенный срок и выполнение установленных объемов работ, определяются при разработке календарных планов.

На рисунке 2.10 представлена схема строительного процесса как функция преобразования определенных состояний входных факторов  $X_1, \dots, X_i$  в соответствующий им результат с параметрами  $Y_1, \dots, Y_i$ . В общем виде эта функция обозначается как  $Y = f(X)$ , и предполагает возможность определения количественной взаимосвязи между показателями факторов на входах процесса и результата на выходе. Для любого процесса можно подобрать или создать такие



наборы «входных» параметров  $X_1, \dots, X_i$  при которых «на выходе» процесса будут наилучшие показатели качества и издержек  $Y_1, \dots, Y_i$  [114].

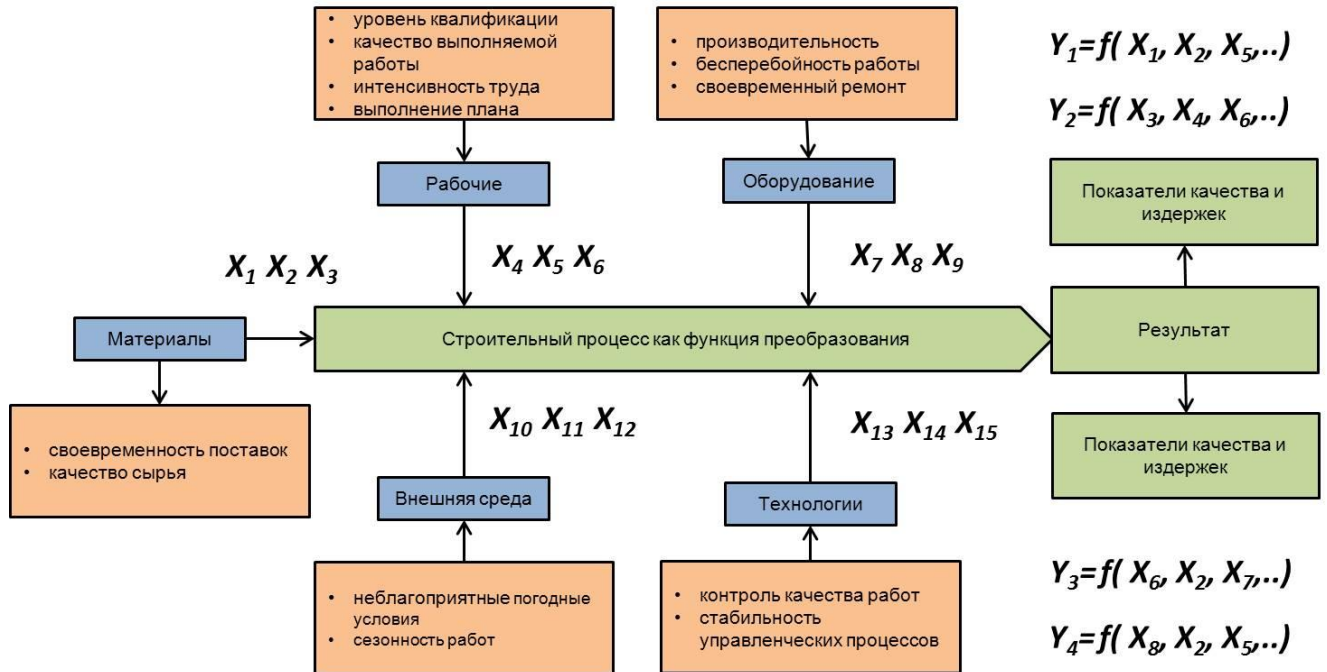


Рисунок 2.10 – Строительный процесс как функция  $Y = f(X)$  [114]

Строительная бригада является одним из важнейших параметров, влияющих на ход строительства. Входными факторами для бригады являются рабочие, их квалификационный уровень, теоретические и практические навыки. Строительная бригада может находиться в различных состояниях. Например, бригада работает и выполняет сменное задание, бригада работает, но сменное задание не выполняет из-за нехватки рабочих, бригада не работает по причине неисправности машин и механизмов [115]. Таким образом, на состояние бригады могут влиять как внешние факторы, такие как отключение электроэнергии, погодные условия и т. д., так и внутренние, связанные, прежде всего, с качественным и количественным составом строительных рабочих. Квалификация рабочего может быть описана определенным кодом, включающим в себя количественную оценку навыков и умений работника определенной специальности. Каждый код характеризуется значением, получаемым в результате вычисления интегральных коэффициентов квалификации рабочего

[114]. Разработанные интегральные коэффициенты квалификации представлены в таблице 2.3.

Таблица 2.3 – Интегральные коэффициенты квалификации рабочего

Код	Наименование коэффициентов квалификации	Формула
А	Коэффициент выработки	$K_{\text{выр}} = \frac{B_{\phi} \times 100}{H_{\epsilon} \times T_{\phi}} \quad (2.3)$ <p>где <math>B_{\phi}</math> – фактическая выработка за определенное время, ед./ч;  <math>H_{\epsilon}</math> – норма выработки за 1 ч работы, ед./ч;  <math>T_{\phi}</math> – фактическое число часов работы (без плановых простоев), ч.</p>
Б	Коэффициент качества работы (практических навыков)	$K_{\text{кач}} = \frac{\sum_{i=1}^n k_{\text{сли}} k_{\text{ври}} k_{\text{ки}}}{n} \quad (2.4)$ <p>где <math>k_{\text{сли}}</math> – коэффициент, характеризующий уровень сложности <math>i</math>-той работы (значение коэффициента задается от 0,1 до 1,5);  <math>k_{\text{ври}}</math> – коэффициент, характеризующий время выполнения <math>i</math>-той работы, при этом должно выполняться следующее условие:  <math>k_{\text{ври}} = 1</math> – если <math>t_{\phi} = t_n</math>, где  <math>t_n</math> – установленное (нормативное) время выполнения работы,  <math>t_{\phi}</math> – фактическое время выполнения работы.  <math>k_{\text{ври}} = 1,5</math> – если <math>t_{\phi} &lt; t_n</math>;  <math>k_{\text{ври}} = 0,5</math> – если <math>t_{\phi} &gt; t_n</math>;  <math>n</math> – общее количество практических заданий.  <math>k_{\text{ки}}</math> – коэффициент, характеризующий качество выполнения практического задания, при этом должны выполняться следующие условия:  <math>k_{\text{ки}} = 1,5</math> – если работа выполнена без замечаний со стороны бригадира/Службы технического надзора и приемки работ;  <math>k_{\text{ки}} = 1</math> – если работа выполнена с допустимыми отклонениями от нормы;  <math>k_{\text{ки}} = 0,3</math> – если работа выполнена с недопустимыми отклонения от нормы и требуется устранение брака;  <math>n</math> – общее количество практических заданий.</p>
В	Коэффициент занятости в течение смены	$K_z = \frac{T_p}{T_{\text{см}}} \quad (2.5)$ <p>где <math>T_p</math> – фактическое количество часов работы, ч.;  <math>T_{\text{см}}</math> – длительность смены, ч.</p>



Код	Наименование коэффициентов квалификации	Формула
Г	Коэффициент теоретических знаний	<p>Определяется по результатам проверки теоретических знаний, которые должны соответствовать необходимым областям знаний выбранной профессии рабочего.</p> $K_T = \frac{Q_r}{Q_n}, \quad (2.6)$ <p>где <math>Q_r</math> – количество верно выполненных теоретических заданий,  <math>Q_n</math> – общее количество теоретических заданий.</p>
Д	Коэффициент профессионального уровня	<p>Определяется на основании Методических рекомендаций по оценке сложности и качества работы специалистов (для установления квалификационных категорий и дифференциации должностных окладов), разработанных НИИ Труда Государственного Комитета СССР по труду и социальным вопросам [116].</p> $K_{проф} = \frac{K_o + K_s}{4,0}, \quad (2.7)$ <p>где <math>K_o</math> – коэффициент уровня образования, в соответствии с таблицей 3.2 может принимать значения 1, 2, 3;  <math>K_s</math> – коэффициент стажа, в соответствии с таблицей 3.2 может принимать значения 0,25, 0,50, 0,75, 1;  4,0 – постоянная величина, соответствующая сумме максимальных значений коэффициента уровня образования и стажа.</p>
Е	Коэффициент дополнительных профессиональных навыков	<p><math>K_{дон} = 0,25</math>, если рабочий освоил дополнительную смежную профессию, но не получил разряд;  <math>K_{дон} = 0,5</math>, если рабочий освоил дополнительную смежную профессию, с присвоением соответствующего разряда.</p>
Ж	Коэффициент безопасности труда	<p>Определяется по таблице 2.4 [117].  <math>K_{б/т} = 1</math>, если рабочий попадает в белую группу безопасности труда;  <math>K_{б/т} = 0,75</math>, если рабочий попадает в зеленую группу безопасности труда;  <math>K_{б/т} = 0,5</math>, если рабочий попадает в желтую группу безопасности труда;  <math>K_{б/т} = 0,25</math>, если рабочий попадает в оранжевую группу безопасности труда;  <math>K_{б/т} = 0</math>, если рабочий попадает в красную группу безопасности труда.</p>

Значение коэффициента  $k_{с\text{л}i}$ , характеризующего уровень сложности  $i$ -той работы, задается работодателем/бригадиром/начальником участка и может варьироваться по его усмотрению. Значения коэффициентов  $K_{дон}$  – коэффициента

дополнительных профессиональных навыков и  $K_{\delta/m}$  – коэффициента безопасности труда не являются нормативными и также могут принимать иные значения на усмотрение работодателя/бригадира/начальника участка. Значения, которые могут принимать коэффициенты  $k_{\epsilon pi}$  – коэффициент, характеризующий время выполнения  $i$ -той работы, и  $k_{\kappa i}$  – коэффициент, характеризующий качество выполнения практического задания, определены следующим методом.

Таблица 2.4 – Оценка стажа работы по специальности с учетом образования работников

Номер стажевой группы	Оценка стажа	Стаж работы по специальности (количество лет) у работников, имеющих образование		
		I группа – общее среднее (полное или неполное)	II группа – среднее специальное	III группа – высшее или незаконченное высшее
1	0,25	0-5	0-9	0-9
2	0,50	5-13	9-13, свыше 29	9-17, свыше 29
3	0,75	13-17, 21-29, свыше 29	13-17, 21-29	17-25
4	1	17-21	17-21	26-29

Были собраны данные о качестве и времени работы двадцати пяти рабочих строительной компании. Для каждого коэффициента  $k_{\epsilon pi}$  и  $k_{\kappa i}$  на основании статистических данных о рабочих получены относительные величины, учитывающие границы возможного изменения показателей  $k_{\epsilon pi}$  и  $k_{\kappa i}$ . Данные величины вычислены по формуле:

$$Q_i = \frac{P_{i \max} - P_{i \min}}{P_{i \max} - P_{i \min}}, \quad (2.8)$$

где  $Q_i$  – значение  $i$ -го единичного показателя критерия (времени выполнения работы, качества работы и т.д.);

$Q_{i \max}$  и  $Q_{i \min}$  – максимальное и минимальное значения единичного  $i$ -го показателя.

Коэффициенты  $Q_i$ ,  $Q_{i \max}$  и  $Q_{i \min}$  выражены в процентных соотношениях. Качество выполняемой работы оценивалось бригадиром и Службой технического надзора и приемки работ.

После проведенных вычислений определены диапазоны относительных значений показателей. Каждому диапазону присвоены балльные оценки. В данной

работе балльные оценки проставлены бригадиром. Для строительных компаний каждый критерий может оцениваться и утверждаться работодателем/бригадиром/начальником участка для каждой работы индивидуально (бетонирование, арматурные работы, сборка/разборка опалубки). В данной работе диапазоны и значения коэффициентов представлены в трех вариантах для коэффициентов  $k_{epi}$  и  $k_{ki}$ , однако, они могут варьироваться. В таблице 2.5 рассмотрен пример оценки качества выполненных арматурных работ.

Стоит отметить, что для разных работ диапазоны относительных значений тех или иных показателей могут существенно различаться. При определении интегральных коэффициентов квалификации рабочих различных строительных специальностей подход к определению коэффициента качества выполненных работ, например, по армированию конструкций, и коэффициента качества работ по бетонированию конструкций будут различны.

Таблица 2.5 – Пример оценки качества арматурных работ

Диапазон относительных значений показателей	Оценки в баллах	Качественная интерпретация	Замечания со стороны Службы технического надзора и приемки работ
0,68...0,84	1,5	Хорошее качество	Замечания отсутствуют
0,51...0,67	1	Удовлетворительное качество (допустимые отклонения от нормы)	Пример: отклонение от проектных размеров положения осей вертикальных каркасов менее 5мм
0,34...0,50	0,3	Неудовлетворительное качество (недопустимые отклонения от нормы, требуется устранение брака)	Пример: отклонение от проектных размеров положения осей вертикальных каркасов более 5мм

Таким образом, после проведения всех вычислений по определению значений интегральных показателей квалификации, за каждым работником может быть закреплен определенный код, характеризующий его квалификационный уровень в общей системе рабочего персонала. При устройстве на работу и обработке данных сотрудника – об уровне образования, стаже работы, за каждым сотрудником закрепляется индивидуальный код, например, 0,7А-1,2Б-0,8В-1,6Г/2-

0,75Д-0,5Е-1,1Ж, численно характеризующий навыки и умения рабочего, его профессиональное отношение к работе.

В работе [117] проведено исследование влияния опыта работы и возраста рабочих, занятых в строительстве, на возникновение травматизма во время работы. Установлено, что тип работы оказывает влияние на возникновение травм только в тех случаях, когда работы выполняются рабочими с опытом работы менее четырех лет. Работы, требующие высокой профессиональной подготовки, как показали исследования, приводят к наименьшему травматизму, нежели работы, практически не требующие определенных навыков. В исследовании, проведенном в работе [117], участвовало порядка 143 национальных строительных компаний США. Уровень возникновения травматизма среди вновь принятых на работу строителей, не прошедших предварительного обучения, на 52% выше уровня травматизма у заранее прошедших подготовку вновь принятых работников. На работников в возрасте 20-24 лет с менее чем четырехлетним опытом приходится одна пятая от общего числа травмированных работников.

Полученные результаты исследований показывают, насколько важна профессиональная подготовка рабочих, их опыт работы и возраст. Влияние всех этих факторов нашло отражение в интегральном коэффициенте безопасности труда. На рисунке 2.11 [117] показано общее количество случаев травматизма на строительных площадках в процентном соотношении, распределенное по всем видам строительных работ, в зависимости от опыта работы строителей. Очевидна тенденция снижения травматизма с увеличением опыта работы.

В таблице 2.6 [117] приведены пять групп риска травматизма строителей, определяемые при пересечении ячеек со сведениями о возрасте рабочего и его профессиональном стаже. В «белой» группе риска количество случаев травматизма составляет менее 1,70% от общих случаев; в «зеленой» группе риска количество случаев травматизма составляет от 1,70% до 2,55%; в «желтой» группе риска количество случаев травматизма от 2,55% до 5,10%; в «оранжевой» группе риска количество случаев травматизма от 5,10% до 7,65%; в «красной» группе риска количество случаев травматизма более 7,65%.

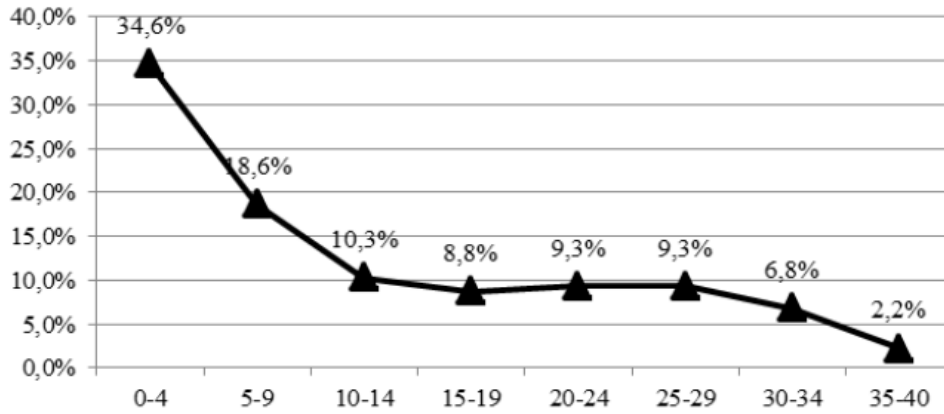


Рисунок 2.11 – График зависимости случаев травматизма у рабочих в зависимости от их опыта работы

Таблица 2.6 – Группы риска травматизма рабочих строительных специальностей в зависимости от их возраста и опыта работы

Опыт работы	Возраст рабочего в момент получения травмы										Итого
	18-19	20-24	25-29	30-34	35-39	40-44	45-49	50-54	55-59	60-65	
0-4	0,70%	5,43%	9,47%	5,57%	3,76%	2,51%	3,34%	3,20%	0,42%	0,42%	34,8%
5-9	0,00%	0,28	3,06%	4,46%	2,51%	2,79%	2,23%	2,37%	0,70%	0,28%	18,7%
10-14		0,00%	0,28%	2,23%	2,23%	2,51%	1,39%	0,84%	0,84%	0,00%	10,3%
15-19			0,28%	0,14%	1,95%	3,20%	1,67%	0,97%	0,42%	0,14%	8,8%
20-24				0,00%	0,28%	1,95%	4,04%	2,23%	0,42%	0,42%	9,3%
25-19					0,00%	0,28%	3,76%	3,48%	1,67%	0,14%	9,3%
30-34						0,14%	0,70%	2,37%	2,65%	0,97%	6,8%
35-40							0,00%	0,00%	1,81%	0,42%	2,2%
<b>Итого</b>	0,7%	5,7%	13,1%	12,4%	10,7%	13,2%	17,1%	15,5%	8,9%	2,8%	100%

Совокупный интегральный показатель квалификации каждого рабочего  $K_{сов}$  может быть вычислен по формуле:

$$K_{сов} = \sum_{j=1}^m K_j, \quad (2.9)$$

где  $K_j$  – значение  $j$ -го интегрального коэффициента квалификации кандидата;

$m$  – количество используемых интегральных коэффициентов оценки квалификации.

Итоговый коэффициент квалификации вычисляется по формуле:

$$K_{итог} = K_{сов} \times K_m, \quad (2.10)$$

где  $K_m$  – значение тарифного коэффициента, принимаемого в зависимости от разряда рабочего 1,085; 1, 186; 1,339; 1,542 для II, III, IV, V квалификационных разрядов соответственно [118].

### **2.3. Определение эффективности применения интегрального показателя квалификации при различных методах расчета**

Остановившись подробнее на принципах формирования совокупного интегрального показателя квалификации стоит отметить, что на сегодняшний момент существует много различных мнений о методах вычисления комбинированного критерия/обобщенного интегрального показателя. Некоторые исследователи используют аддитивный метод, другие – мультипликативный или аддитивно-мультипликативный [119-130].

Недостатком аддитивных и мультипликативных преобразований является то, что существует неограниченная возможность компенсации. Для ее уменьшения вводятся ограничения, определяющие наименьшие (наибольшие) допустимые значения частных критериев оптимальности, и поиск оптимальной альтернативы осуществляется на множестве альтернатив, удовлетворяющих этим ограничениям [122, 123].

При выборе аддитивного метода, если один из частных критериев равен или близок к нулю, то итоговый результат, с одной стороны, существенно не страдает. С другой стороны, в аддитивном методе может происходить взаимная компенсация частных критериев. Это значит, что значительное уменьшение одного из них вплоть до нуля может быть покрыто возрастанием другого критерия. Для ослабления этого недостатка следует вводить ограничения на минимальные значения частных критериев и их весовых коэффициентов [123]. Если же один из частных критериев равен или близок к нулю при выборе мультипликативного метода, фактор «провала» одного из критериев радикально

влияет на итоговое значение всего вычисляемого критерия. Все эти факторы в значительной мере могут повлиять на «устойчивость» итогового критерия [127].

Представленный в работе метод формирования интегрального показателя квалификации был выбран как наиболее простой и понятный. Вместе с тем, в интегральном показателе квалификации отражены все основные параметры, необходимые для комплексной оценки квалификационного уровня рабочего.

Совокупный интегральный показатель квалификации каждого рабочего  $K_{сов}$  также может быть вычислен по формуле:

$$K_{сов} = \sum_{j=1}^m K_j \sigma_j, \quad (2.11)$$

где  $\sigma_j$  – весовой коэффициент  $j$ -го коэффициента квалификации.

Например, в работе [131] рассматривался принцип формирования интегрального показателя квалификации с учетом весовых коэффициентов для каменщика 2-го разряда, в работе [132] – интегральный показатель квалификации с учетом весовых коэффициентов для монтажника 2-го разряда.

Стоит сразу отметить, что в данной работе для вычисления интегрального показателя квалификации использовалась формула (2.9), т. к. существует большое количество методов определения весовых коэффициентов и многие из них весьма спорные и носят субъективный характер. Вместе с тем, рассмотрим несколько вариантов определения весовых коэффициентов.

Наиболее распространенным методом определения весовых коэффициентов является метод экспертных оценок (метод приписывания баллов и метод ранжирования).

Рассмотрим метод приписывания баллов. Например, вышеуказанные интегральные показатели квалификации оцениваются пятью экспертами в области организации строительства по шкале от 1 до 10. При этом можно допустить оценивание важности показателей дробными величинами или присвоение одного и того же оценочного значения из выбранной шкалы нескольким интегральным показателям. Подразумевается, что эксперты имеют равную компетентность. После проставления оценок экспертами строится матрица

весовых оценок, представленная в таблице 2.7. Значение весовой оценки  $r_{ik}$  рассчитывается для каждого интегрального показателя квалификации  $i$ -м экспертом и определяется по формуле [133, 134]:

$$r_{ik} = \frac{h_{ik}}{\sum_{k=1}^m h_{ik}}, \quad (2.12)$$

где  $h_{ik}$  – балл  $i$ -го эксперта для  $k$  – го критерия;

$\sum_{k=1}^m h_{ik}$  – сумма баллов  $i$ -той строки;

$m$  – число частных оценок критериев.

Таблица 2.7 – Матрица весовых оценок

Эксперты	Интегральные коэффициенты квалификации							Сумма баллов $\sum_{k=1}^m h_{ik}$
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	
1	8	10	5	6	9	5	6	49
2	6	8	7	7	10	4	4	46
3	7	9	6	6	10	6	5	49
4	7	9	9	5	10	6	6	52
5	9	10	7	5	10	7	5	53

Далее определяется суммарная оценка для каждого критерия, полученная суммированием значений каждого столбца матрицы (табл. 2.8) [133].

$$r_i = \sum_{j=1}^L r_{ji}, \quad (2.13)$$

где  $L$  – количество экспертов.

Значения весовых коэффициентов вычисляются по формуле (2.14), при этом должно выполняться условие, представленное в формуле (2.15) [133]:

$$\sigma_i = \frac{r_i}{\sum_{i=1}^m r_i}, \quad (2.14)$$

$$\sum_{i=1}^n \sigma_i = 1, \quad (2.15)$$

где  $n$  – количество используемых критериев оценки квалификации.



Таблица 2.8 – Матрица весовых оценок

Эксперты	Интегральные коэффициенты квалификации							Сумма баллов $\sum_{k=1}^m h_{ik}$
	А	Б	В	Г	Д	Е	Ж	
1	8/49	10/49	5/49	6/49	9/49	5/49	6/49	49
2	6/46	8/46	7/46	7/46	10/46	4/46	4/46	46
3	7/49	9/49	6/49	6/49	10/49	6/49	5/49	49
4	7/52	9/52	9/52	5/52	10/52	6/52	6/52	52
5	9/53	10/53	7/53	5/53	10/53	7/53	5/53	53
Суммарная оценка $r_i$	0,74	0,92	0,68	0,59	0,99	0,56	0,52	

$$\sum_{i=1}^m r_i = 0,74 + 0,92 + 0,68 + 0,59 + 0,99 + 0,56 + 0,52 = 5$$

По результатам вычислений были получены следующие весовые коэффициенты для интегральных показателей квалификации:

- $\sigma_A = 0,15$ ;
- $\sigma_B = 0,18$ ;
- $\sigma_V = 0,14$ ;
- $\sigma_\Gamma = 0,12$ ;
- $\sigma_D = 0,20$ ;
- $\sigma_E = 0,11$ ;
- $\sigma_{\text{Ж}} = 0,10$ .

Аналогичным образом можно рассчитать весовые коэффициенты методом ранжирования, при котором эксперты расставляют интегральные коэффициенты квалификации в порядке их важности. Цифрой 1 обозначается наиболее важный, по мнению эксперта, интегральный коэффициент, цифрой 2 – следующий по важности коэффициент и т.д. Далее расчеты ведутся по вышеприведенному алгоритму.

Однако, поскольку оценки экспертов являются случайными величинами, как правило, для оценки их объективности необходимо применить ряд дополнительных расчетов с использованием методов математической статистики. Например, рассчитываются коэффициенты значимости оценок, оценивается согласованность мнений экспертов, определяется коэффициент конкордации [135-

137]. Стоит также отметить, что на достоверность весовых коэффициентов существенно влияют такие факторы как численный состав экспертной группы, уровень компетенции экспертов. Неоднозначность всех этих факторов в итоге может оказать существенное влияние на совокупный интегральный показатель квалификации.

В работе итоговые интегральные показатели квалификации вычислены для 107 рабочих из двух бригад, работающих на объектах А и Б, по формуле:

$$K_{итог} = (K_{проф} + K_{дон} + K_{б/н}) \times K_m, \quad (2.16)$$

Другие интегральные коэффициенты квалификации не рассчитывались, поскольку не представлялось возможным собрать все необходимые данные о 107 рабочих для формирования и вычисления оставшихся интегральных коэффициентов.

Средний интегральный показатель квалификации смены рассчитан по формуле:

$$K_{см} = \frac{\sum_{i=1}^n K_{итог i}}{n}, \quad (2.17)$$

где  $K_{итог i}$  – значение итогового интегрального показателя квалификации  $i$ -го работника;

$n$  – количество рабочих в смену.

Средний интегральный показатель квалификации смены был рассчитан для всех рабочих смен бригады объекта А и бригады объекта Б, работающих в течение 4,5 месяцев (октябрь, ноябрь, декабрь, январь, февраль).

Рассмотрим графики изменения значений средних интегральных показателей квалификации и графики колебания значений количества рабочих в смену, построенные для бригад объекта А и Б за октябрь (рисунок 2.12, 2.13).

Диапазон колебаний значений средних интегральных показателей квалификации за октябрь на объекте А составил от 1% до 22%, на объекте Б от 1% до 16%.

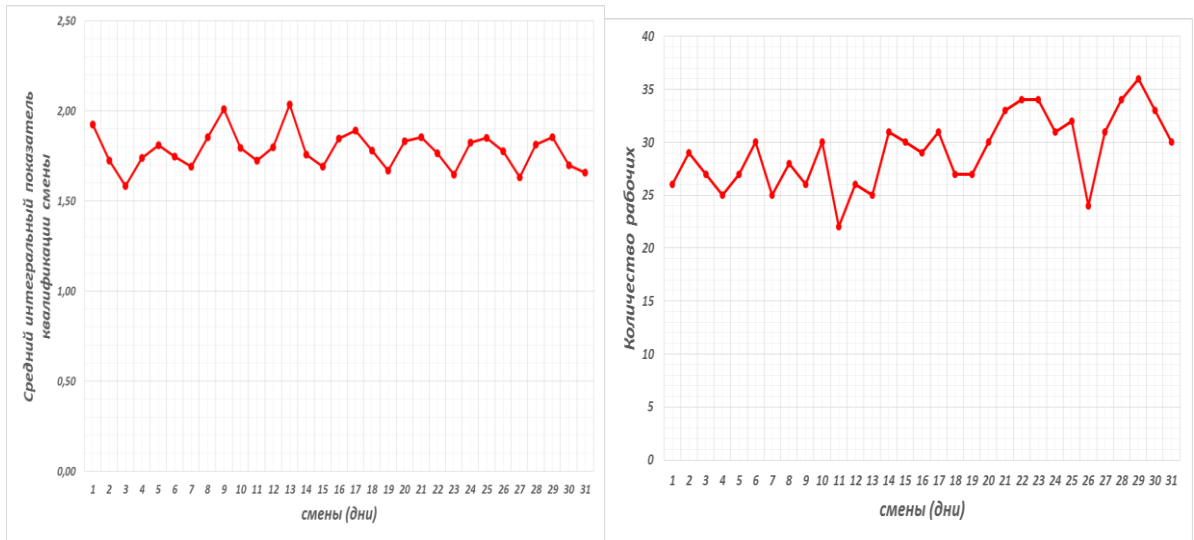


Рисунок 2.12 – Графики колебаний значений средних интегральных показателей квалификации и количества рабочих на объекте А

Анализируя графики на рисунке 2.12, построенный для объекта А, можно сказать об очевидной цикличности изменения значений среднего интегрального показателя квалификации с периодом равным четырем дням. При этом количество рабочих изменяется достаточно хаотично, без определенной зависимости. Зависимость между изменением значений среднего интегрального показателя квалификации и изменением численности рабочих практически не прослеживается.

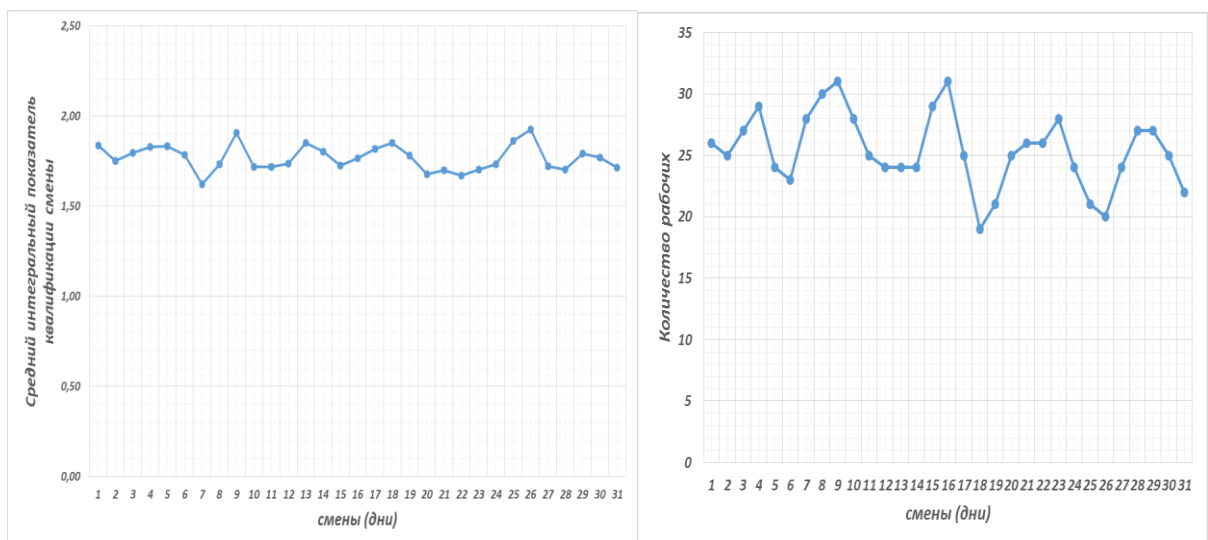


Рисунок 2.13 – Графики колебаний значений средних интегральных показателей квалификации и количества рабочих на объекте Б

Анализируя графики на рисунке 2.13, построенные для объекта Б, можно сказать, что изменения значений среднего интегрального показателя

квалификации не носят ярко выраженный циклический характер, как на графике для объекта А, хотя цикличность изменений показателя прослеживается с периодом равным четырем дням. Разброс значений среднего интегрального показателя квалификации на объекте Б существенно ниже, чем на объекте А, что уменьшает вероятность резкого повышения или понижения значения показателя при попадании в одну смену рабочих с высоким итоговым коэффициентом квалификации, или же, наоборот, слишком низким. Во втором случае низкое значение среднего интегрального показателя квалификации может привести к невыполнению работы в срок или выполнению работы с большим процентом брака. Зависимость между изменением значений среднего интегрального показателя квалификации и изменением численности рабочих прослеживается лучше, чем на объекте А, но также не является значительной.

### **Выводы по второй главе**

1. Установлено, что тип работы оказывает влияние на возникновение травм только в тех случаях, когда работы выполняются рабочими с опытом работы менее четырех лет. Работы, требующие высокой профессиональной подготовки, приводят к наименьшему травматизму, нежели работы, практически не требующие определенных навыков.

2. На основании статистических сведений о более, чем 100 рабочих из двух бригад, работающих на 2-х объектах, включающих в себя информацию о возрасте рабочих, их образовании, профессиональном стаже, квалификационном разряде, графике работы каждого рабочего *разработаны интегральные коэффициенты квалификации*, отражающие индивидуальные оценки каждого рабочего – от практических навыков, до теоретических знаний в строительной области.

3. Разработана *методика расчета среднего интегрального показателя квалификации смены* на основе расчета интегральных коэффициентов квалификации с учетом весовых коэффициентов.

## Глава 3. Разработка математических моделей для повышения организационно-технологической надежности строительства

### 3.1. Выявление зависимости между основными параметрами строительного процесса

Проведем исследование зависимости между тремя параметрами строительного процесса: средним интегральным показателем квалификации смены, количеством рабочих в смену и средним ежедневным объемом выполненных работ (ежедневный объем забетонированных конструкций с учетом плит перекрытий, куб. м), рассчитанными для объектов А и Б за 4,5 месяца – октябрь, ноябрь, декабрь, январь, февраль. Исходные данные для исследования зависимостей между вышеуказанными параметрами за октябрь представлены в таблице 3.1.

Ежедневный объем выполненных работ  $Z$  можно представить как функцию, зависящую от двух переменных – количества рабочих (переменная  $X$ ) и среднего интегрального показателя квалификации (переменная  $Y$ ):

$$Z = f(X, Y) \quad (3.1)$$

В программе TableCurve 3D v4.0.01 были построены поверхности, описывающие взаимосвязь параметров  $Z$ ,  $X$ ,  $Y$ . Исходные поверхности представлены на рисунках 3.1 и 3.2.

Таблица 3.1 – Исходные данные для объектов А и Б за октябрь

№ смены (октябрь)	x (количество рабочих)		y (средний интегральный показатель квалификации)		z (выполненный объем работ, куб.м)	
	Объект А	Объект Б	Объект А	Объект Б	Объект А	Объект Б
1	26	26	1,92	1,84	40,85	35,31
2	29	25	1,72	1,75	40,25	46,91
3	27	27	1,58	1,80	40,75	33,91
4	25	29	1,74	1,83	36,75	31,21
5	27	24	1,81	1,83	31,90	45,51
6	30	23	1,75	1,78	33,90	32,31
7	25	28	1,69	1,62	32,00	42,71
8	28	30	1,86	1,73	36,00	47,50
9	26	31	2,01	1,91	37,00	37,00
10	30	28	1,79	1,72	42,70	45,00

№ смены (октябрь)	x (количество рабочих)		y (средний интегральный показатель квалификации)		z (выполненный объем работ, куб.м)	
	Объект А	Объект Б	Объект А	Объект Б	Объект А	Объект Б
11	22	25	1,72	1,72	35,00	47,03
12	26	24	1,80	1,74	28,00	41,33
13	25	24	2,04	1,85	38,75	50,13
14	31	24	1,76	1,80	29,85	55,50
15	30	29	1,69	1,73	40,25	54,80
16	29	31	1,85	1,77	37,25	48,60
17	31	25	1,89	1,82	41,05	53,50
18	27	19	1,78	1,85	37,35	37,15
19	27	21	1,67	1,78	33,75	33,95
20	30	25	1,83	1,68	36,25	33,95
21	33	26	1,86	1,70	42,70	38,55
22	34	26	1,77	1,67	41,60	39,95
23	34	28	1,65	1,70	32,20	39,15
24	31	24	1,83	1,73	40,20	42,35
25	32	21	1,85	1,86	24,70	34,35
26	24	20	1,78	1,92	28,80	26,75
27	31	24	1,63	1,72	42,80	29,75
28	34	27	1,81	1,70	41,80	51,50
29	36	27	1,86	1,79	41,10	58,70
30	33	22	1,70	1,77	42,40	31,50
31	30	18	1,66	1,71	37,33	49,50

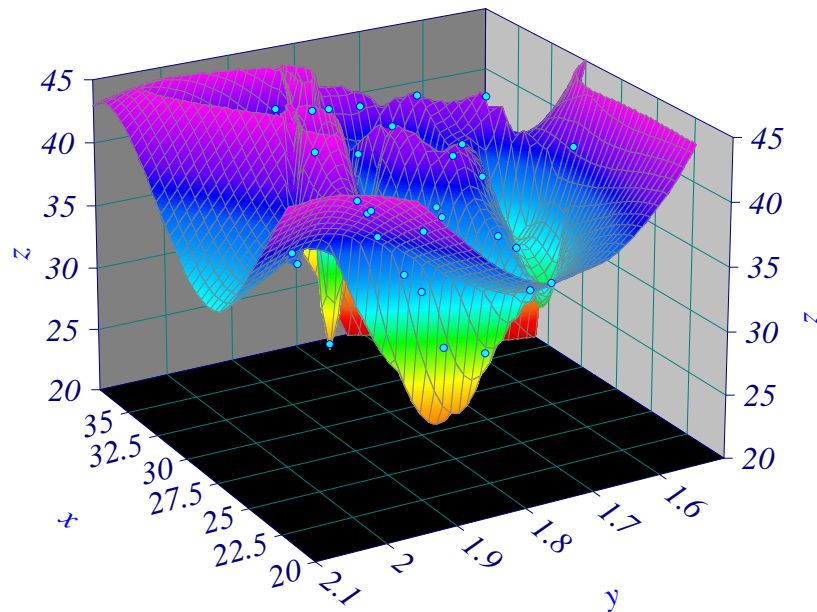


Рисунок 3.1 – Поверхность, описывающая взаимосвязь параметров объекта А

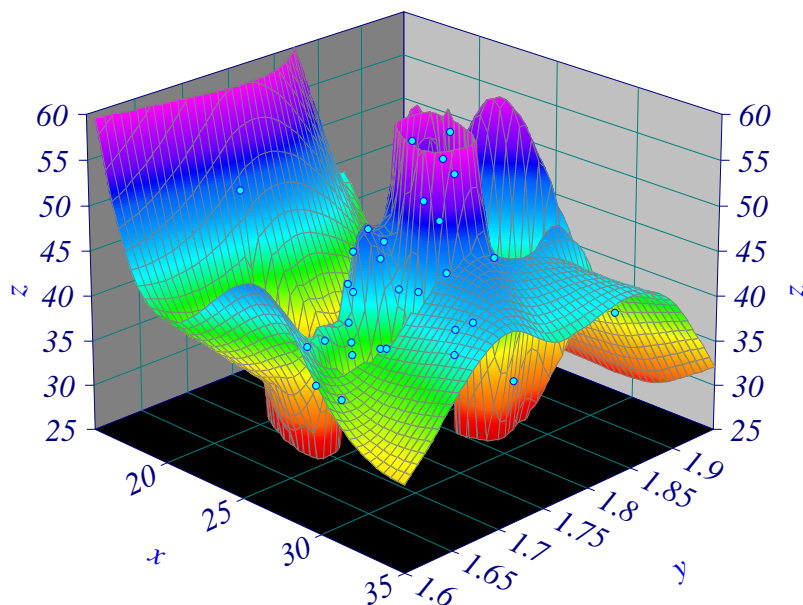


Рисунок 3.2 – Поверхность, описывающая взаимосвязь параметров объекта Б

При рассмотрении полученных поверхностей очевидно, что описать данные поверхности весьма сложно. Однако попробуем подобрать такие уравнения, которые смогли бы дать наиболее точное описание поверхностям при относительно высоком коэффициенте корреляции, который показывает степень достоверности полученных результатов и уровень взаимосвязи исследуемых параметров. Чем ближе значение коэффициента корреляции к значению «1», тем значительно больше коррелируют между собой исследуемые параметры. Соответственно при значении коэффициента корреляции равном «0», можно говорить о полном отсутствии корреляции между исследуемыми величинами [138-140].

Рассмотрим линейные уравнения, с помощью которых возможно описание рассматриваемых поверхностей. В таблице 3.2 приведены линейные уравнения, описывающие поверхности для объектов А и Б, и соответствующие им коэффициенты корреляции.

Анализируя данные, представленные в таблице 3.2, можно сделать вывод, что для всех приведенных уравнений, связывающих средний интегральный показатель квалификации смены, количество рабочих в смену и средний ежедневный объем выполненных работ, коэффициент корреляции ниже значения 0,5.

Таблица 3.2 – Линейные уравнения, описывающие поверхности объектов А и Б

№п/п	Коэффициент корреляции	Уравнение
<i>Объект А</i>		
1	0,373614	$z=a+b(\ln x)^2+c\ln y/y^2$
2	0,373563	$z=a+bx^{(0.5)}+c\ln y/y^2$
3	0,373509	$z=a+b\ln x+c\ln y/y^2$
4	0,373468	$z=a+bx^{(0.5)}\ln x+c\ln y/y^2$
5	0,373346	$z=a+bx/\ln x+c\ln y/y^2$
6	0,373154	$z=a+bx+c\ln y/y^2$
7	0,372966	$z=a+b/x^{(0.5)}+c\ln y/y^2$
8	0,372888	$z=a+b\ln x/x+c\ln y/y^2$
9	0,372826	$z=a+bx\ln x+c\ln y/y^2$
10	0,372756	$z=a+b/\ln x+c\ln y/y^2$
11	0,345486	$z=a+b\ln x+cy$
12	0,344877	$z=a+bx+cy$
13	0,344375	$z=a+b/x+cy$
14	0,343747	$z=a+b\ln x+c\ln y$
15	0,343142	$z=a+bx+c\ln y$
16	0,342657	$z=a+b/x+c\ln y$
17	0,342314	$z=a+b\ln x+c/y$
18	0,341716	$z=a+bx+c/y$
19	0,34124	$z=a+b/x+c/y$
20	0,334606	$\ln z=a+b\ln x+c\ln y/y^2$
21	0,334519	$\ln z=a+b/x^{(0.5)}+c\ln y/y^2$
22	0,334501	$\ln z=a+b\ln x/x+c\ln y/y^2$
23	0,334427	$\ln z=a+b(\ln x)^2+c\ln y/y^2$
24	0,334404	$\ln z=a+b/\ln x+c\ln y/y^2$
25	0,334186	$\ln z=a+bx^{(0.5)}+c\ln y/y^2$
26	0,333909	$\ln z=a+bx^{(0.5)}\ln x+c\ln y/y^2$
27	0,333902	$\ln z=a+b/x+c\ln y/y^2$
28	0,332729	$\ln z=a+b/x^{(1.5)}+c\ln y/y^2$
29	0,332311	$\ln z=a+b\ln x/x^2+c\ln y/y^2$
30	0,235414	$z^{(-1)}=a+b\ln x/x+c\ln y/y^2$
31	0,235324	$z^{(-1)}=a+b/\ln x+c\ln y/y^2$



Продолжение таблицы 3.2

№п/п	Коэффициент корреляции	Уравнение
32	0,235311	$z^{(-1)}=a+b/x^{(0.5)}+c\ln y/y^2$
33	0,235303	$z^{(-1)}=a+b/x+c\ln y/y^2$
34	0,2345	$z^{(-1)}=a+b\ln x+c\ln y/y^2$
35	0,234445	$z^{(-1)}=a+b/x^{(1.5)}+c\ln y/y^2$
36	0,234072	$z^{(-1)}=a+b\ln x/x^2+c\ln y/y^2$
37	0,233658	$z^{(-1)}=a+b(\ln x)^2+c\ln y/y^2$
38	0,232901	$z^{(-1)}=a+bx^{(0.5)}+c\ln y/y^2$
39	0,232699	$z^{(-1)}=a+b/x^2+c\ln y/y^2$
<b>Объект Б</b>		
1	0,430128	$z=a+b/x^2+ce^{(-x)}$
2	0,423794	$z=a+b\ln x/x^2+ce^{(-x)}$
3	0,421459	$z=a+b/x^{(1.5)}+ce^{(-x)}$
4	0,4123	$z=a+b/x+ce^{(-x)}$
5	0,405072	$z=a+b/\ln x+ce^{(-x)}$
6	0,403668	$z=a+b\ln x/x+ce^{(-x)}$
7	0,402707	$z=a+b/x^{(0.5)}+ce^{(-x)}$
8	0,392744	$z=a+b\ln x+ce^{(-x)}$
9	0,386403	$z=a+b(\ln x)^2+ce^{(-x)}$
10	0,38381	$z=a+be^{(x/wx)}+ce^{(-x)}$
11	0,332711	$\ln z=a+b/x^2+ce^{(-x)}$
12	0,323434	$\ln z=a+b\ln x/x^2+ce^{(-x)}$
13	0,319984	$\ln z=a+b/x^{(1.5)}+ce^{(-x)}$
14	0,310868	$z=a+bx+cy$
15	0,308376	$z=a+b\ln x+cy$
16	0,307372	$z=a+bx+c\ln y$
17	0,304972	$z=a+b\ln x+c\ln y$
18	0,303979	$z=a+bx+c/y$
19	0,303216	$z=a+b/x+cy$
20	0,30167	$z=a+b\ln x+c/y$
21	0,29982	$z=a+b/x+c\ln y$
22	0,296525	$z=a+b/x+c/y$

№п/п	Коэффициент корреляции	Уравнение
23	0,226397	$\ln z = a + by^2 \ln y + cy^3$
24	0,224525	$\ln z = a + by^2 + c(\ln y)^2$
25	0,216098	$\ln z = a + be^{(y/wy)} + c/y^{(1.5)}$
26	0,214138	$\ln z = a + by^{(2.5)} + c(\ln y)^2$
27	0,211929	$\ln z = a + by^3 + c(\ln y)^2$
28	0,210568	$\ln z = a + by^2 \ln y + c(\ln y)^2$
29	0,208364	$\ln z = a + b/y^{(0.5)} + ce^{(-y)}$

На рисунке 3.3 показана измененная поверхность 3.1, получаемая при использовании уравнения, представленного в п. 1 таблицы 3.2 для объекта А. На рисунке 3.4 показана измененная поверхность 3.2, получаемая при использовании уравнения, представленного в п. 1 таблицы 3.2 для объекта Б.

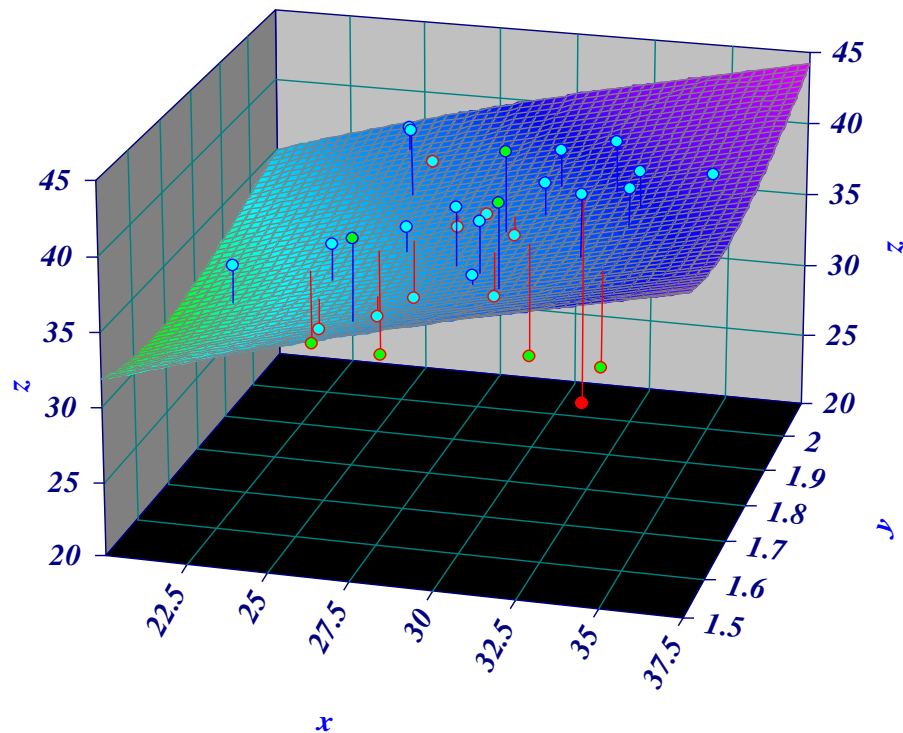


Рисунок 3.3 – Поверхность, описываемая уравнением  $z = a + b(\ln x)^2 + c \ln y / y^2$  для объекта А

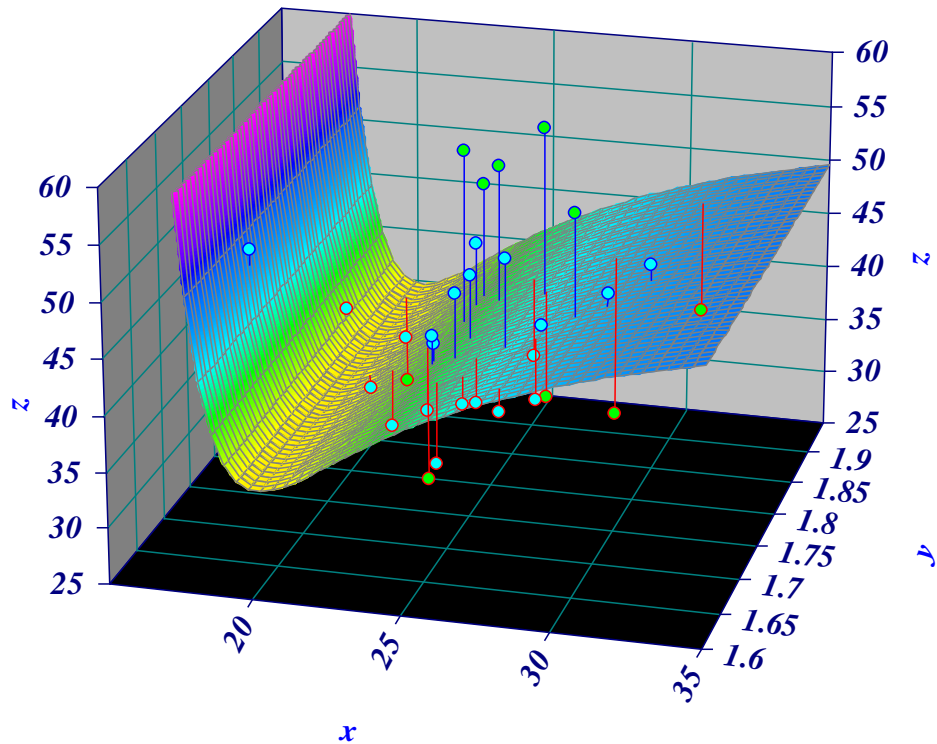


Рисунок 3.4 – Поверхность, описываемая уравнением  $z=a+b/x^2+ce^{(-x)}$  для объекта Б

Из визуального анализа поверхностей, представленных на рисунках 3.3 и 3.4 следует, что зависимости, установленные рассматриваемыми уравнениями, описывают связь лишь между некоторыми значениями анализируемых параметров, другие же значения исследуемых параметров просто «выпадают» из общего описания и рассмотрения в рамках выбранных уравнений. К тому же значения коэффициентов корреляции, устанавливаемых между исследуемыми параметрами при использовании уравнений из п. 1 для объекта А и п. 1 для объекта Б таблицы 3.2, достаточно малы – 0,373614 для уравнения объекта А и 0,430128 для уравнения объекта Б.

Следовательно, использовать рассмотренные в таблице 3.2 линейные уравнения для описания взаимосвязи между рассматриваемыми параметрами нецелесообразно, поэтому стоит перейти к рассмотрению уравнений более сложных порядков.

Рассмотрим сложные функции, описывающие зависимости между рассматриваемыми параметрами с коэффициентом корреляции выше значения

0,5. Поскольку количество уравнений и функций со значением коэффициента корреляции выше значения 0,5 удалось подобрать достаточно много (76 для объекта А и более 100 для объекта Б), в таблице 3.3 приведены только некоторые из них.

Таблица 3.3 – Сложные уравнения и функции, описывающие поверхности объектов А и Б

№п/п	Коэффициент корреляции	Уравнение
<b>Объект А</b>		
1	0,975024	Полином Чебышева 6-го порядка от двух переменных X, Y
2	0,973259	Полином Чебышева 6-го порядка от двух переменных LnX, Y
3	0,972892	Полином Чебышева 6-го порядка от двух переменных X, LnY
4	0,969661	Полином Чебышева 6-го порядка от двух переменных LnX, LnY
5	0,781331	Полином Чебышева рационального порядка 6/7 от двух переменных LnX, LnY
6	0,746999	Полином Чебышева 5-го порядка от двух переменных X, Y
7	0,746397	Полином Чебышева 5-го порядка от двух переменных X, LnY
8	0,729955	Полином Чебышева 5-го порядка от двух переменных LnX, LnY
9	0,729916	Полином Чебышева 5-го порядка от двух переменных LnX, Y
10	0,584326	Полином Чебышева 4-го порядка от двух переменных X, LnY
11	0,583786	Полином Чебышева 4-го порядка от двух переменных X, Y
12	0,580525	Полином Чебышева 4-го порядка от двух переменных LnX, LnY
13	0,580434	Полином Чебышева 4-го порядка от двух переменных LnX, Y
14	0,528911	$z=a+bx+cx^2+dx^3+ex^4+fx^5+g/y+h/y^2+i/y^3+j/y^4+k/y^5$
15	0,527365	$z=a+b/x+c/x^2+d/x^3+e/x^4+f/x^5+g/y+h/y^2+i/y^3+j/y^4+k/y^5$
16	0,526754	$z=a+b\ln x+c(\ln x)^2+d(\ln x)^3+e(\ln x)^4+f(\ln x)^5+g/y+h/y^2+i/y^3+j/y^4+k/y^5$
17	0,526682	$z=a+b\ln x+c(\ln x)^2+d(\ln x)^3+e(\ln x)^4+f/y+g/y^2+h/y^3+i/y^4+j/y^5$
18	0,52539	$z=a+b/x+c/x^2+d/x^3+e/x^4+f/y+g/y^2+h/y^3+i/y^4+j/y^5$
19	0,523653	$z=a+bx+cx^2+dx^3+ex^4+f/y+g/y^2+h/y^3+i/y^4+j/y^5$
20	0,523035	$z=a+bx+cx^2+dx^3+ex^4+fx^5+g\ln y+h(\ln y)^2+i(\ln y)^3+j(\ln y)^4+k(\ln y)^5$
<b>Объект Б</b>		
1	0,914077	Полином Чебышева 6-го порядка от двух переменных X, LnY
2	0,909658	Полином Чебышева 6-го порядка от двух переменных X, Y
3	0,907128	Полином Чебышева 6-го порядка от двух переменных LnX, LnY
4	0,903051	Полином Чебышева 6-го порядка от двух переменных LnX, Y

№п/п	Коэффициент корреляции	Уравнение
5	0,872201	Полином Чебышева рационального порядка 6/7 от двух переменных X, Y
6	0,853522	Полином Чебышева 5-го порядка от двух переменных X, Y
7	0,85326	Полином Чебышева 5-го порядка от двух переменных X, LnY
8	0,851298	Полином Чебышева 5-го порядка от двух переменных LnX, Y
9	0,850635	Полином Чебышева 5-го порядка от двух переменных LnX, LnY
10	0,804611	Полином Чебышева 4-го порядка от двух переменных LnX, LnY
11	0,803369	Полином Чебышева 4-го порядка от двух переменных LnX, Y
12	0,79545	Полином Чебышева 4-го порядка от двух переменных X, LnY
13	0,794165	Полином Чебышева 4-го порядка от двух переменных X, Y
14	0,658009	$z=a+b/x+cy+d/x^2+ey^2+fy/x+g/x^3+hy^3+iy^2/x+jy/x^2$
15	0,654434	$z=a+b/x+clny+d/x^2+e(lny)^2+f(lny)/x+g/x^3+h(lny)^3+i(lny)^2/x+j(lny)/x^2$
16	0,651153	$z=a+b/x+c/y+d/x^2+e/y^2+f/(xy)+g/x^3+h/y^3+i/(xy^2)+j/(x^2y)$
17	0,625112	Полином Чебышева 3-го порядка от двух переменных LnX, Y
18	0,625112	$z=a+blnx+cy+d(lnx)^2+ey^2+fylnx+g(lnx)^3+hy^3+iy^2lnx+jy(lnx)^2$
19	0,622124	Полином Чебышева 3-го порядка от двух переменных LnX, LnY
20	0,622124	$z=a+blnx+clny+d(lnx)^2+e(lny)^2+flnxlny+g(lnx)^3+h(lny)^3+ilnx(lny)^2+j(lnx)^2lny$
21	0,619356	$z=a+blnx+c/y+d(lnx)^2+e/y^2+f(lnx)/y+g(lnx)^3+h/y^3+i(lnx)/y^2+j(lnx)^2/y$
22	0,598219	$z=a+b/x+c/x^2+d/x^3+e/x^4+f/x^5+g/y+h/y^2+i/y^3+j/y^4+k/y^5$
23	0,588233	$z=a+b/x+c/x^2+d/x^3+e/x^4+f/x^5+g/y+h/y^2+i/y^3+j/y^4$
24	0,579403	$z=a+blnx+c(lnx)^2+d(lnx)^3+e(lnx)^4+fy+gy^2+hy^3+iy^4$
25	0,556813	$z=a+blnx+clnx/x+de^{(-x)}+ey^2lny+fy^3$

Анализируя данные, представленные в таблице 3.3, можно сделать вывод о том, что для всех уравнений, как для объекта А, так и для объекта Б, значения коэффициентов корреляции больше «0,5», а во многих случаях близко к «1», при этом связь между исследуемыми параметрами устанавливается через вычисление полиномов Чебышева от двух переменных третьего, четвертого, пятого, шестого порядков или через сложные линейные уравнения. Вычисления, связанные с нахождением многочленов Чебышева для двух переменных столь высоких

порядков являются очень сложными и могут занять большое количество времени [141-144]. На рисунке 3.5 показана измененная исходная поверхность, получаемая при использовании уравнения, представленного в п. 9 таблицы 3.3 для объекта А, на рисунке 3.6 показана измененная исходная поверхность, получаемая при использовании уравнения, представленного в п. 10 таблицы 3.3 для объекта Б.

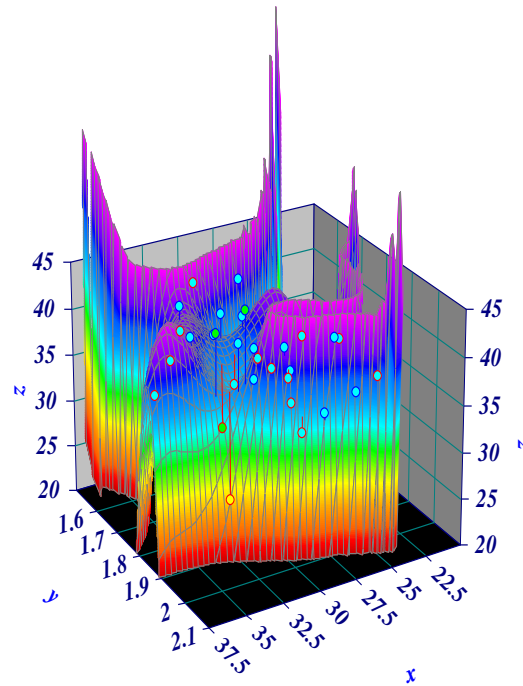


Рисунок 3.5 – Поверхность, описываемая Полиномом Чебышева 5-го порядка от двух переменных  $\text{Ln}X$ ,  $Y$  для объекта А

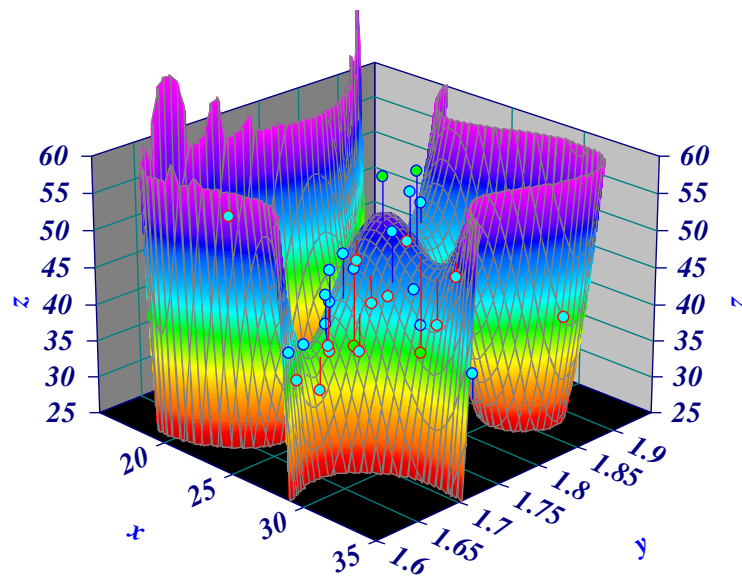


Рисунок 3.6 – Поверхность, описываемая Полиномом Чебышева 4-го порядка от двух переменных  $\text{Ln}X$ ,  $\text{Ln}Y$  для объекта Б

Коэффициенты корреляции для уравнений из п. 9 для объекта А и п. 10 для объекта Б таблицы 3.3, равные 0,729916 и 0,804611 соответственно, говорят о высокой взаимосвязи параметров, при описании их с помощью данных функций. Из визуального анализа поверхностей, представленных на рисунках 3.5 и 3.6, также следует, что «выпадающих» из описания параметров значительно меньше, чем при использовании простых линейных уравнений.

Для всех сложных линейных уравнений, указанных в п.14 – п.20 для объекта А и в п.14 – п.16, п.18, п.20 – п.25 для объекта Б были рассчитаны коэффициенты  $a, b, c, d, e, f, g, h, I, j, k$ . Например, для уравнения из п.14 для объекта А коэффициенты имеют следующие значения:

- $a = -963258,76$ ;
- $b = -2332,4594$ ;
- $c = 156,1002$ ;
- $d = -5,1753916$ ;
- $e = 0,085057128$ ;
- $f = -0,00055456069$ ;
- $g = 8752417,8$ ;
- $h = -31298737$ ;
- $i = 55855701$ ;
- $j = -49747746$ ;
- $k = 17691184$ .

Тогда уравнение из п.14 для объекта А можно записать в следующем виде:

$$z = -963258,76 + (-963258,76)x + 156,1002x^2 + (-5,1753916)x^3 + 0,085057128x^4 + (-0,00055456069)x^5 + 8752417,8/y + (-31298737)/y^2 + 55855701/y^3 + (-49747746)/y^4 + 17691184/y^5$$

С математической точки зрения коэффициент корреляции, равный 0,528911, дает неплохую корреляционную связь исследуемым параметрам при использовании данного уравнения. Однако с другой стороны, такое уравнение слишком громоздкое, с большим количеством математических операций, что значительно усложняет вычисление таких параметров как  $x$  или  $y$ .

Рассмотрим производственную функцию Кобба-Дугласа, имеющую следующий вид [145, 146]:

$$Q = AK^\alpha L^\beta, \quad (3.2)$$

где  $K$  – затраты труда/объем трудовых ресурсов в стоимостном выражении, либо в натуральном количестве (например, число рабочих);

$L$  – затраты капитала/ объем фондов либо в стоимостном выражении, либо в натуральном количестве;

$A$  – положительный производственный коэффициент, показывающий пропорциональность всех функций;

$\alpha, \beta$  – коэффициенты эластичности объема производства по затратам капитала и труда;

$Q$  – выпуск продукции в стоимостном или натуральном выражении.

Таким образом, производственную функцию Кобба-Дугласа можно охарактеризовать как функцию, описывающую зависимость между факторами производства и максимально возможным объемом продукта, производимого данным набором факторов.

Анализируя коэффициенты эластичности можно выделить следующие виды производственной функции Кобба-Дугласа [147, 148]:

1. пропорционально возрастающая, если  $\alpha + \beta = 1$ ;
2. непропорционально возрастающая, если  $\alpha + \beta > 1$ ;
3. убывающая, если  $\alpha + \beta < 1$ .

Функция Кобба-Дугласа считается «неоклассической», если для ее показателей степени (коэффициентов эластичности) выполняются следующие условия [149]:

$$0 < \alpha < 1, 0 < \beta < 1, \quad (3.3)$$

$$0 < \alpha < 1, 0 < 1 - \alpha < 1, \quad (3.4)$$

Если производственную функцию Кобба-Дугласа преобразовать для установления зависимостей между рассматриваемыми параметрами: средним



интегральным показателем квалификации смены, количеством рабочих в смену и средним ежедневным объемом выполненных работ, то она примет вид:

$$Z = AX^{\alpha}Y^{\beta}, \quad (3.5)$$

где  $Y$  – средний интегральный показатель квалификации смены;

$X$  – количество рабочих в смену;

$A$  – коэффициент, показывающий пропорциональность всех функций;

$\alpha, \beta$  – коэффициенты эластичности среднего ежедневного объема выполненных работ по количеству рабочих в смену и среднему интегральному показателю квалификации смены;

$Z$  – средний ежедневный объем выполненных работ.

Полученную функцию (3.5) назовем *функцией выработки*.

Для нахождения коэффициентов  $A, \alpha, \beta$  необходимо прологарифмировать уравнение (3.5):

$$\ln Z = \ln A + \alpha \ln X + \beta \ln Y, \quad (3.6)$$

Вычислим все необходимые коэффициенты в программе Excel с помощью функции «Линейн». В таблице 3.4 приведены значения коэффициентов  $A, \alpha, \beta$ , а также значения коэффициентов корреляции, вычисленные по исходным данным, приведенным в таблице 3.1.

Таблица 3.4 – Коэффициенты, вычисленные для функции выработки объектов А и Б

№ п/п	Коэффициент корреляции	$\beta$	$\alpha$	$\ln A$	$A$
Объект А	0,999114684	0,618180881	0,9631855	0	1
Объект Б	0,998322433	0,502499011	1,06052978	0	1

Значения коэффициентов корреляции и для объекта А, и для объекта Б близки к «1», что делает возможным принять функцию (3.5) в качестве функции, описывающей рассматриваемые параметры: средний интегральный показатель квалификации смены, количество рабочих в смену и средний ежедневный объем выполненных работ. Для объекта А функция (3.5) примет вид:

$$Z = X^{0,9631855}Y^{0,618180881}, \quad (3.7)$$

Для объекта Б функция (3.5) примет вид:

$$Z = X^{1,06052978} Y^{0,502499011}, \quad (3.8)$$

Математические модели функций выработки для объекта А (3.7) и объекта Б (3.8) показывают, что на одинаковых типовых объектах выявляются разные зависимости. Коэффициенты эластичности для функции выработки объекта А и объекта Б различны, однако имеют одинаковый порядок. Разность между коэффициентами эластичности  $\alpha$  для объектов А и Б имеет значение 0,097, разность между коэффициентами эластичности  $\beta$  для объектов А и Б имеет значение 0,116. Сумма коэффициентов эластичности  $\alpha$  и  $\beta$  для объекта А равна 1,58, для объекта Б – 1,56. Различие в математических моделях функций выработки для объекта А и объекта Б обуславливается различными графиками работы бригад, и соответственно, ежедневным количеством человек на строительной площадке, а также различным объемом выполняемых ежедневных работ.

Рассмотрим зависимость ежедневных значений выработки от количества рабочих в смену. Рассчитаем значения ежедневной выработки по формуле:

$$V_{выпр\ i} = \frac{V_i}{N_i}, \quad (3.9)$$

где  $V_{выпр\ i}$  – значение выработки в  $i$ -тый день на 1-го рабочего;

$V_i$  – общий объем работ в  $i$ -тый день;

$N_i$  – количество рабочих в  $i$ -тый день.

На рисунке 3.7 представлены графики изменения значений ежедневной выработки и количества рабочих в смену для объектов А и объекта Б за октябрь.

Из графиков на рисунке 3.7 видно, что не всегда с увеличением количества рабочих увеличивается значение выработки. В некоторых случаях выработка увеличивается при уменьшении количества рабочих.

Рассмотрим наиболее характерные участки графика объекта А. На графике прослеживается сильная пульсация выработки. Чем больше пульсация, тем выше интенсивность труда, после которой наступает спад. В желтую область попали пиковые значения выработки, после которых наблюдается резкий спад, показанный в фиолетовых областях.

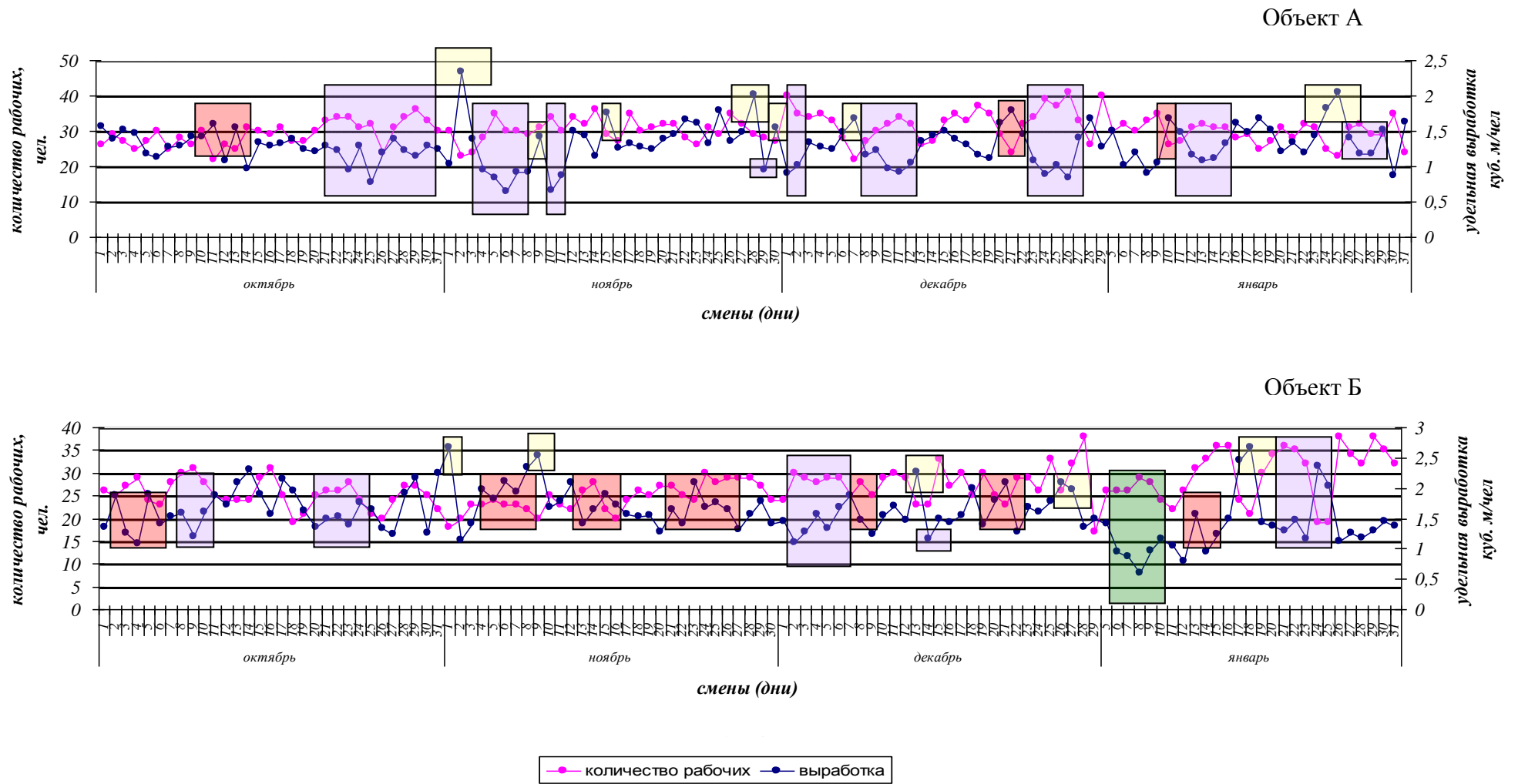


Рисунок 3.7 – Графики изменения значений выработки и количества рабочих за октябрь

При этом наблюдается противоположная зависимость между количеством людей и выработкой (фиолетовые области на рисунке 3.7). Максимальные значения выработки были получены в те дни, когда численность рабочих снижалась. И, напротив, низкая выработка наблюдается при относительно высоком и стабильном количестве рабочих.

На графике объекта Б сохраняется та же зависимость, что и на графике объекта А. После пиковых значений выработки наступает резкий спад значений выработки. Для объекта Б резкий спад значений выработки особо характерен для дней после новогодних праздников (5, 6, 7, 8 января), при этом количество рабочих достаточно высокое (зеленая область на рисунке 3.7).

Также наблюдается неравномерность изменения значений выработки в период сезонных болезней и в периоды устранения брака (красные области на рисунке 3.7) в соответствии с Предписаниями, составленными Службой технического надзора и приемки работ.

Построим точечные диаграммы зависимости значений выработки (ось ординат) от количества рабочих (ось абсцисс) (рисунок 3.8, 3.9). Из графиков видно, что с увеличением численности рабочих наблюдается снижение выработки как на объекте А, так и на объекте Б.

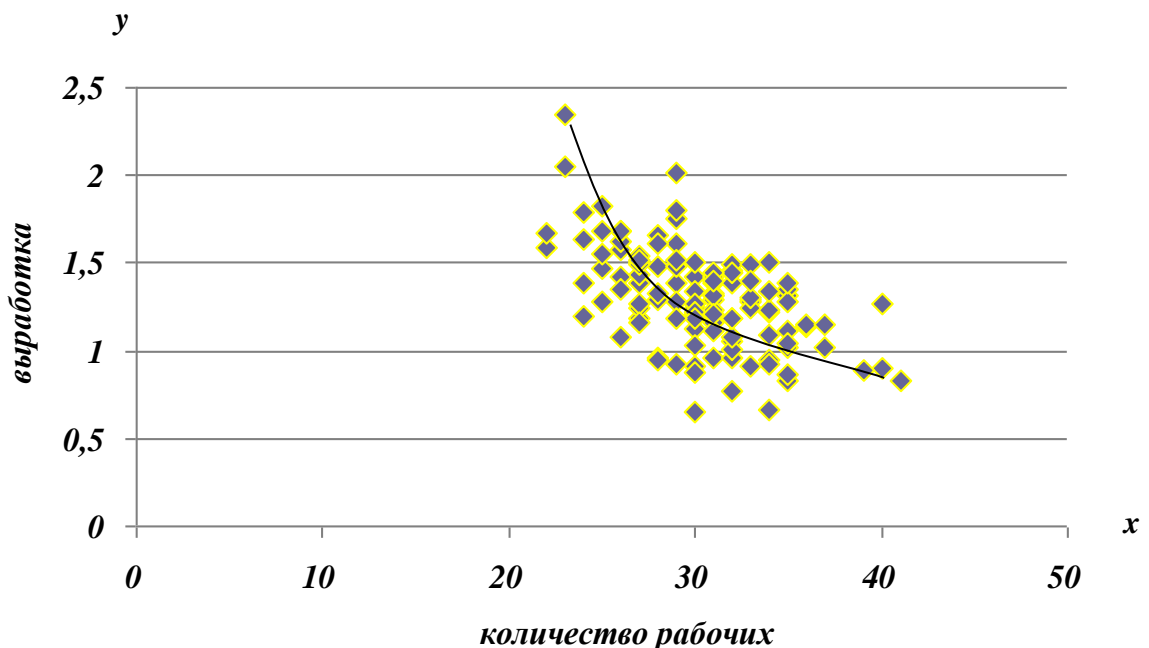


Рисунок 3.8 – Зависимость выработки от численности рабочих на объекте А

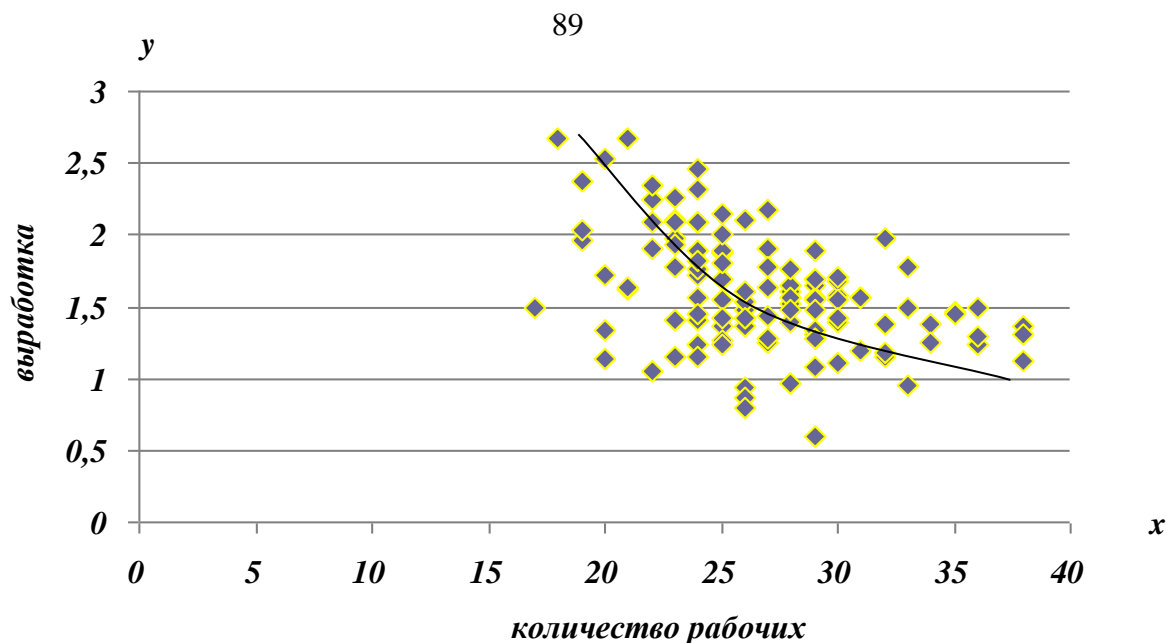


Рисунок 3.9 – Зависимость выработки от численности рабочих на объекте Б

Характер зависимостей, представленных на рисунках 3.8 и 3.9, может быть описан на основании подхода, предложенного в работе [150], в которой так же отмечается, что при уменьшении численности бригады выработка растет, а при увеличении численности бригады падает. Анализируя рисунки 3.8 и 3.9, опишем зависимости между параметрами графически в виде гиперболы. На основании подхода, описанного в [150] определим коэффициенты гиперболического уравнения регрессии [151]:

$$y = a + \frac{b}{x}, \quad (3.10)$$

где  $a$ ,  $b$  – коэффициенты уравнения, которые можно найти, пользуясь следующей системой уравнений:

$$\begin{cases} an + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} = \sum_{i=1}^n y_i \\ a \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i} + b \sum_{i=1}^n \frac{1}{x_i^2} = \sum_{i=1}^n \frac{y_i}{x_i} \end{cases}, \quad (3.11)$$

где  $n$  – количество значений ряда данных.

Пусть  $x$  – удельная относительная численность рабочих  $N_{уд}$ , вычисляемая по формуле:

$$N_{yd} = \frac{N_i}{N_{cp}}, \quad (3.12)$$

где  $N_i$  – количество рабочих в  $i$ -тый день периода;

$N_{cp}$  – среднее количество рабочих в рассматриваемом периоде. Под периодом мы понимаем 4,5 месяца работы бригад объекта А и объекта Б (октябрь, ноябрь, декабрь, январь).

Тогда значения удельной выработки (на 1-го рабочего) можно определить по формуле (3.10), подставив в формулу вычисленные значения коэффициентов  $a$ ,  $b$  и параметра  $x$ . Вычисленные коэффициенты  $a$  и  $b$  для двух объектов приведены в таблице 3.5.

Таблица 3.5 – Коэффициенты уравнения гиперболической регрессии

№ п/п	a	b
Объект А	0,50	0,80
Объект Б	1,35	0,25

Значения *оптимизированных* объемов работ будут определены как произведение удельной выработки на фактическое количество рабочих в день.

Построим и сравним графики для объектов А и Б за период времени, равный четырем месяцам (рисунок 3.10):

- график фактического объема работ, значения которого определены по собранным статистическим данным;
- график объема работ, значения которого рассчитаны по формуле функции выработки (3.5);
- график функции оптимизированных объемов работ, значения которых получены на основании применения подхода, предложенного в работе [150] и формул (3.10) и (3.11).

Из сводных графиков объемов работ, представленных на рисунке 3.10, видно, что максимальные колебания и разброс значений наблюдаются на графике фактического объема работ как для объекта А, так и для объекта Б.

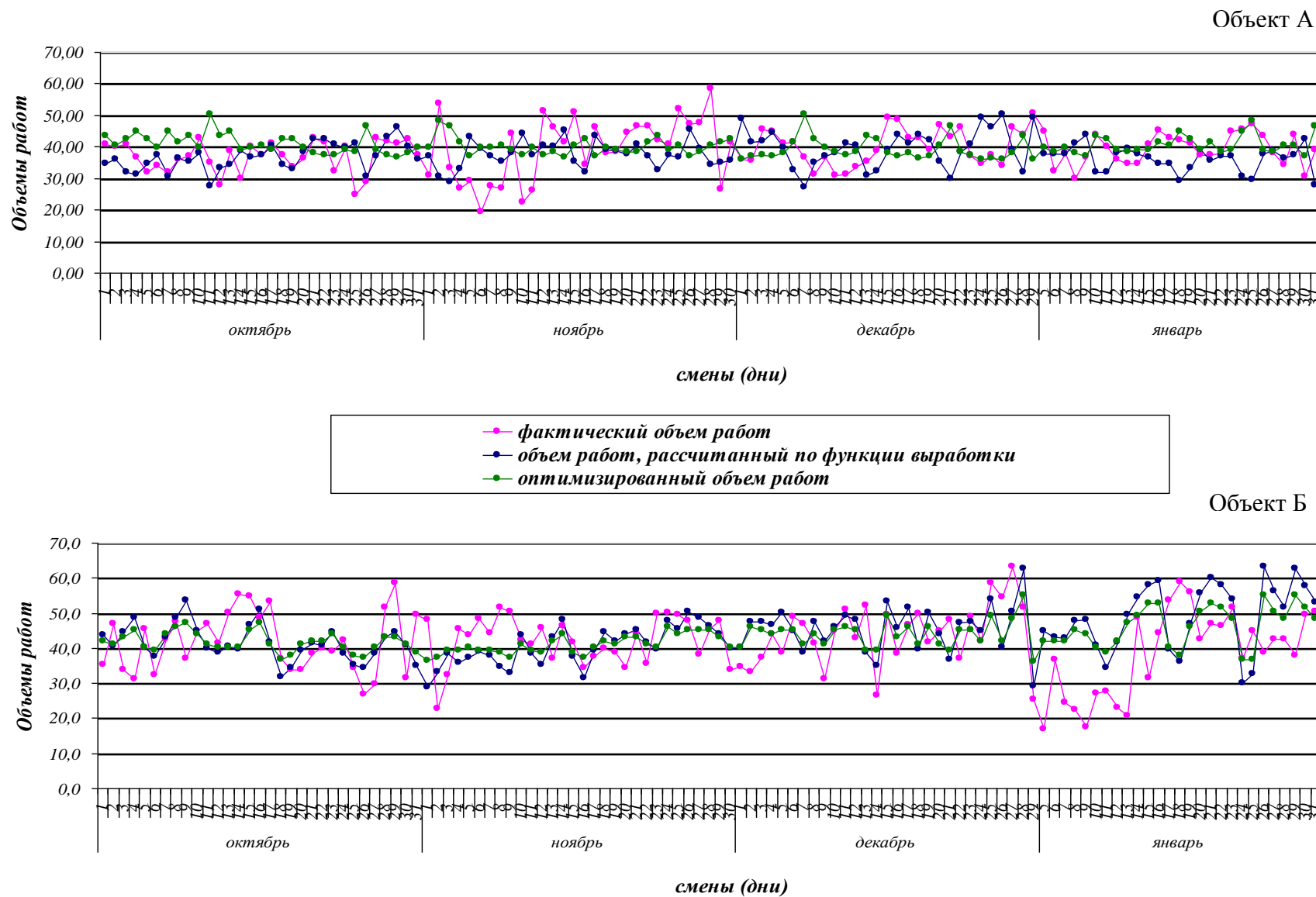


Рисунок 3.10 – Сводный график объемов работ

График объема работ, рассчитанного по формуле функции выработки (3.5) корректирует значения графика фактических объемов работ, однако колебания и разброс значений все же хорошо заметны. Например, на графике объема работ, рассчитанного по формуле функции выработки (3.5), построенного для объекта Б, колебания значений объемов работ в конце января даже выше, чем колебания значений фактических объемов работ в том же периоде.

График функции оптимизированного объема работ имеет наименьшие колебания и разброс значений по сравнению с графиком фактического объема работ и графиком объема работ, рассчитанного по формуле функции выработки (3.5). Значения объемов работ, полученные в результате построения графика функции оптимизированного объема работ, являются наилучшими и могут устанавливаться в качестве средних нормативных значений [152]. Можно сказать, что график функции оптимизированного объема работ, построенный с учетом удельной выработки, является математическим ожиданием, отражающим взаимосвязь основных параметров строительного процесса.

Таким образом, после каждого временного рабочего периода, например, месяца работ, можно проанализировать отклонения фактических значений объемов работ от нормативных (оптимальных для данного периода) по сводному графику объемов работ, а также установить границы допустимых отклонений значений фактических объемов работ, задав определенные пороговые значения. Например, установив пороговые значения отклонений, равные 10% от значений функции оптимизированного объема работ, мы можем проанализировать зоны критических отклонений. Колебания значений фактического объема работ могут находиться в диапазоне между пороговыми значениями отклонений объемов работ, при этом критические колебания значений фактических объемов работ являются недопустимыми. При выявлении таких колебаний необходимо проанализировать причину их возникновения, связанную с внешними, или внутренними факторами, воздействующими на строительную систему и принять меры для предотвращения возникновения критических отклонений в прогнозируемом периоде.



### 3.2. Анализ спектров изменения средних объемов работ

Используем алгоритм БПФ для анализа данных о ежедневных средних объемах выполненных работ на объекте А и объекте Б. Исходными данными являются сведения о ежедневных объемах забетонированных конструкций (куб. м) за 4,5 месяца (октябрь, ноябрь, декабрь, январь, февраль) по двум объектам (Приложения В, Г).

Значения средних ежедневных объемов работ были вычислены по формуле:

$$V_{cpi} = V_{ki} + \frac{V_{mnt}}{N_t}, \quad (3.13)$$

где  $V_{cpi}$  – значение среднего объема выполненных работ в  $i$ -тый день, куб. м;

$V_{ki}$  – объем забетонированных конструкций (стены, колонны) и т. д. в  $i$ -тый день, куб. м;

$V_{mnt}$  – объем забетонированного участка плиты перекрытия за период времени  $t$ ;

$N_t$  – количество рабочих дней в период времени  $t$ .

Под периодом времени  $t$  понимается количество дней между бетонированием участков плиты перекрытия.

Сведения о средних ежедневных объемах работ по объекту А и объекту Б представлены в таблице 3.6 и таблице 3.7.

Пусть  $x(n)$  – это значение среднего выполненного объема работ в  $n$ -ый день работы бригады, где  $n=0 \dots N-1$ . Количество значений в ряде данных принимаем  $N=128$ . В ряд данных не вошли нулевые значения объемов работ, относящиеся к предпраздничным и праздничным дням (конец декабря, начало января).

В программе TableCurve 2D v5.01 с помощью аппарата БПФ (FFT – Fast Fourier transform) для каждого исходного ряда данных, представляющего собой функцию изменения средних ежедневных объемов работ на заданном промежутке времени, получим новую аппроксимированную функцию в результате вычисления значений  $X(k)$  через исходные данные  $x(n)$  для каждой точки периода. В нашем случае под периодом понимается 4,5 месяца, 128 дней (рабочих смен).





В результате разложения сигнал – функция изменения средних ежедневных объемов работ, представленная исходным рядом данных, делится на постоянную составляющую и 32 гармонических колебания или просто 32 гармоники. Каждая гармоника характеризуется своим периодом, частотой и амплитудой. Также каждая гармоника характеризуется своей мощностью, которая показывает степень влияния определенной гармоники на изменение сигнала, выражает долю гармоники в общем сигнале, в нашем случае для функции изменения средних ежедневных объемов работ.

В качестве примера на рисунке 3.11 показана постоянная составляющая сигнала – функции изменения средних объемов работ объекта А, на рисунках 3.12, 3.13 – первая и вторая гармоники, на рисунке 3.14 – одиннадцатая гармоника. В таблицах 3.8 и 3.9 представлены вычисленные коэффициенты Фурье для 32 гармоник, в совокупности дающих аппроксимированный сигнал для объекта А и для объекта Б соответственно.

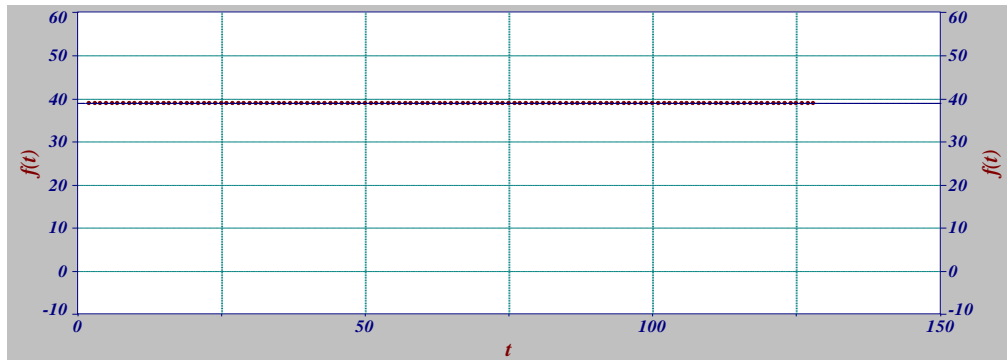


Рисунок 3.11 – Постоянная составляющая функции изменения средних объемов работ объекта А

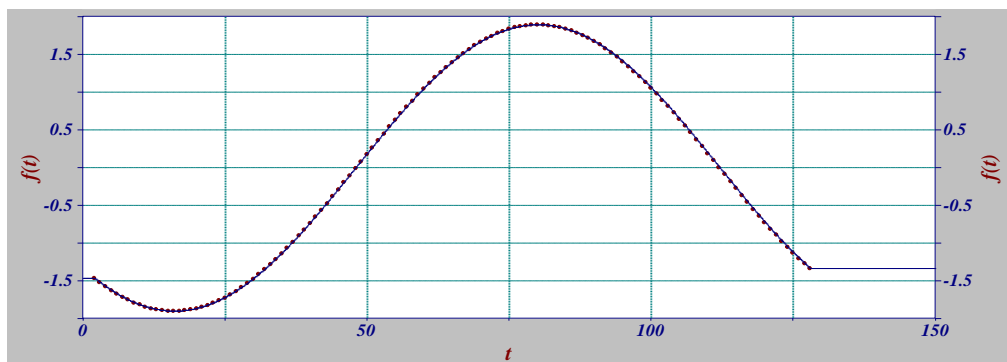


Рисунок 3.12 – Первая гармоника функции изменения средних объемов работ объекта А

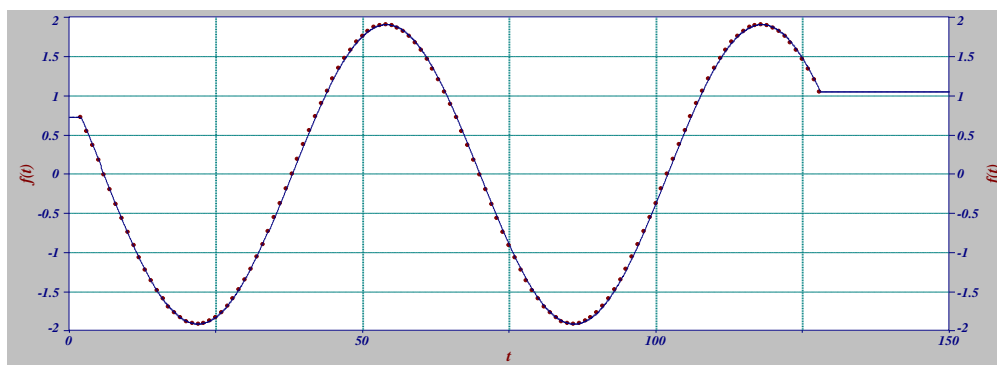


Рисунок 3.13 –Вторая гармоника функции изменения средних объемов работ объекта А

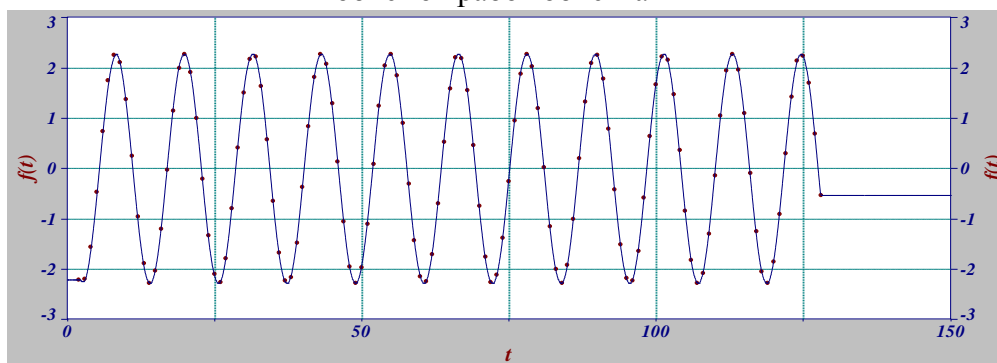


Рисунок 3.14 – Одиннадцатая гармоника функции изменения средних объемов работ объекта А

Функция, получаемая в результате сложения нескольких гармоник, называется приближающей функцией, а сама операция – приближением. Таким образом, если сложить постоянную составляющую и первую гармонику, то мы получаем первое приближение функции, сложив 10 первых гармоник и постоянную составляющую, получим десятое приближение и т. д. Также можно складывать гармоники не последовательно, с разными амплитудами и мощностями. Исследование поведения функции изменения ежедневных средних объемов работ с помощью различных приближений, при каждом последующем приближении, наглядно показывает малейшие изменения функции и позволяет определить на каком участке функции и в какой момент времени такое изменение произошло. Все изменения, происходящие с функцией легко сопоставить со строительным процессом, т. к. значения функции можно определить в каждой точке периода (в нашем случае это 4,5 месяца) как для любого приближения, так и для итоговой функции[153].

Таблица 3.8 – Коэффициенты Фурье для функции изменения средних объемов работ объекта А

№п/п	Частота	Re	Im	Амплитуда	Фаза	Мощность
0	0	2493,94683	0	38,9679191	1,57079633	1518,499
1	0,0078125	-46,778526	38,6855292	1,89695497	4,02140403	1,799219
2	0,015625	23,2291768	56,5428802	1,91026523	2,75179014	1,824557
3	0,0234375	30,4791115	-21,29717	1,16195623	0,96091219	0,675071
4	0,03125	-67,439877	34,2333795	2,36347147	4,24266929	2,792999
5	0,0390625	68,7697714	28,9226719	2,33138455	1,96891084	2,717677
6	0,046875	43,5445267	-8,2138752	1,38476418	1,3843554	0,958786
7	0,0546875	-12,190988	-2,4424569	0,38853918	4,91012046	0,075481
8	0,0625	-6,4726807	11,2278022	0,40499703	3,66454365	0,082011
9	0,0703125	22,2553853	-19,056208	0,91559899	0,86268411	0,419161
10	0,078125	29,3436182	-0,6189261	0,91719202	1,5497071	0,420621
11	0,0859375	-70,576056	18,5754745	2,28061376	4,45502779	2,6006
12	0,09375	75,1363498	5,87284298	2,35517245	1,64880021	2,773419
13	0,1015625	-17,697862	68,0221788	2,19646181	3,39612727	2,412222
14	0,109375	51,1000138	69,1142205	2,68604374	2,50493858	3,607415
15	0,1171875	-16,101684	5,18705778	0,5286423	4,40074257	0,139731
16	0,125	-42,869444	86,525	3,01758597	3,60159952	4,552913
17	0,1328125	-56,868918	28,0092722	1,98101171	4,25474053	1,962204
18	0,140625	-27,184445	-53,101324	1,86422548	5,81003507	1,737668
19	0,1484375	47,6929649	-60,312261	2,40283601	0,66908585	2,88681
20	0,15625	-26,14567	5,28889153	0,83360126	4,51279674	0,347446
21	0,1640625	-0,3900657	-118,73234	3,71040551	6,27990007	6,883555
22	0,171875	-46,216734	-16,084638	1,5292404	5,04730439	1,169288
23	0,1796875	47,9174546	24,6088799	1,68335121	2,04523947	1,416836
24	0,1875	26,1131568	-17,184896	0,97689	0,98875257	0,477157
25	0,1953125	-17,874548	-19,554208	0,82789885	5,54263325	0,342708
26	0,203125	0,64352962	4,56325988	0,14401291	3,00149244	0,01037
27	0,2109375	9,07173749	46,3699616	1,47653183	2,94839459	1,090073
28	0,21875	8,83808663	-9,8426354	0,41338594	0,73167529	0,085444
29	0,2265625	-20,125256	17,980938	0,843368	3,98320369	0,355635
30	0,234375	23,6292025	23,8368486	1,04887149	2,36056908	0,550066
31	0,2421875	17,2174785	-30,322758	1,08968494	0,51641186	0,593707
32	0,25	-18,044444	0	0,28194444	4,71238898	0,079493

Таблица 3.9 – Коэффициенты Фурье для функции изменения средних объемов работ объекта Б

№п/п	Частота	Re	Im	Амплитуда	Фаза	Мощность
0	0	2651.77000	0	41.4339062	1.57079633	1716,769
1	0.00781250	-78.550429	5.06918233	2.45980707	4.64794423	3,025325
2	0.01562500	5.00610313	-37.887801	1.19428429	0.13136872	0,713157
3	0.02343750	-24.100512	20.9409674	0.99773122	3.99702354	0,497734
4	0.03125000	-120.57205	-104.02188	4.97632778	5.42423076	12,38192
5	0.03906250	35.8816812	-112.10316	3.67830083	0.30977309	6,764948

№п/п	Частота	Re	Im	Амплитуда	Фаза	Мощность
6	0.04687500	-27.640989	53.6500762	1.88599768	3.61733311	1,778494
7	0.05468750	-54.315160	51.4205059	2.33732558	3.95436031	2,731545
8	0.06250000	-52.475582	-110.32941	3.81790931	5.83922600	7,288216
9	0.07031250	110.789229	28.0777290	3.57161829	1.81900413	6,378229
10	0.07812500	57.6683230	71.9255517	2.88092468	2.46576852	4,149864
11	0.08593750	4.85844055	-14.080591	0.46547552	0.33225396	0,108334
12	0.09375000	24.1514833	40.6963578	1.47885080	2.60599907	1,0935
13	0.10156250	-34.009350	7.58815469	1.08892507	4.49286499	0,592879
14	0.10937500	25.5173791	-18.420435	0.98348127	0.94553753	0,483618
15	0.11718750	-20.263445	7.23360158	0.67237060	4.36951136	0,226041
16	0.12500000	-40.376667	19.9933333	1.40798802	4.25261245	0,991215
17	0.13281250	15.9083052	20.7492608	0.81705813	2.48749358	0,333792
18	0.14062500	80.2351443	-1.6100050	2.50785300	1.55073294	3,144663
19	0.14843750	5.30348153	55.6189249	1.74597520	3.04652618	1,524215
20	0.15625000	62.7938613	-55.863471	2.62644982	0.84373864	3,449119
21	0.16406250	35.6106909	-10.043854	1.15625013	1.29589135	0,668457
22	0.17187500	1.94379055	-14.243125	0.44922342	0.13563430	0,100901
23	0.17968750	-21.371911	-15.765532	0.82992763	5.34795555	0,34439
24	0.18750000	64.1660585	-30.858936	2.22502567	1.12252643	2,47537
25	0.19531250	25.1921952	9.37592445	0.84001178	1.92708866	0,35281
26	0.20312500	4.54565788	-56.842968	1.78201354	0.07979888	1,587786
27	0.21093750	8.96997791	-27.880476	0.91524708	0.31127121	0,418839
28	0.21875000	-67.249483	38.0944866	2.41530011	4.19699254	2,916837
29	0.22656250	72.2349457	-8.5609787	2.27314007	1.45283084	2,583583
30	0.23437500	95.6388766	-14.868405	3.02461648	1.41656692	4,574152
31	0.24218750	46.0904315	13.8648538	1.50408365	1.86300386	1,131134
32	0,25	-132.41667	0	2.06901042	4.71238898	4,280804

Суммируя все гармоники, получаем саму функцию изменения средних объемов работ во временной области и частотную область, которая может быть представлена в нескольких видах. Значение частот в диапазоне от низких до высоких расположены по оси абсцисс. По оси ординат могут быть расположены значения амплитуд гармоник, в совокупности дающих функцию самого сигнала, значения фаз, магнитуд или мощностей сигнала. Полученная функция изменения значений средних объемов работ и частотная область для объекта А показаны на рисунке 3.15, для объекта Б на рисунке 3.16. В частотных областях объекта А и объекта Б по оси ординат расположены значения амплитуд гармоник сигнала.

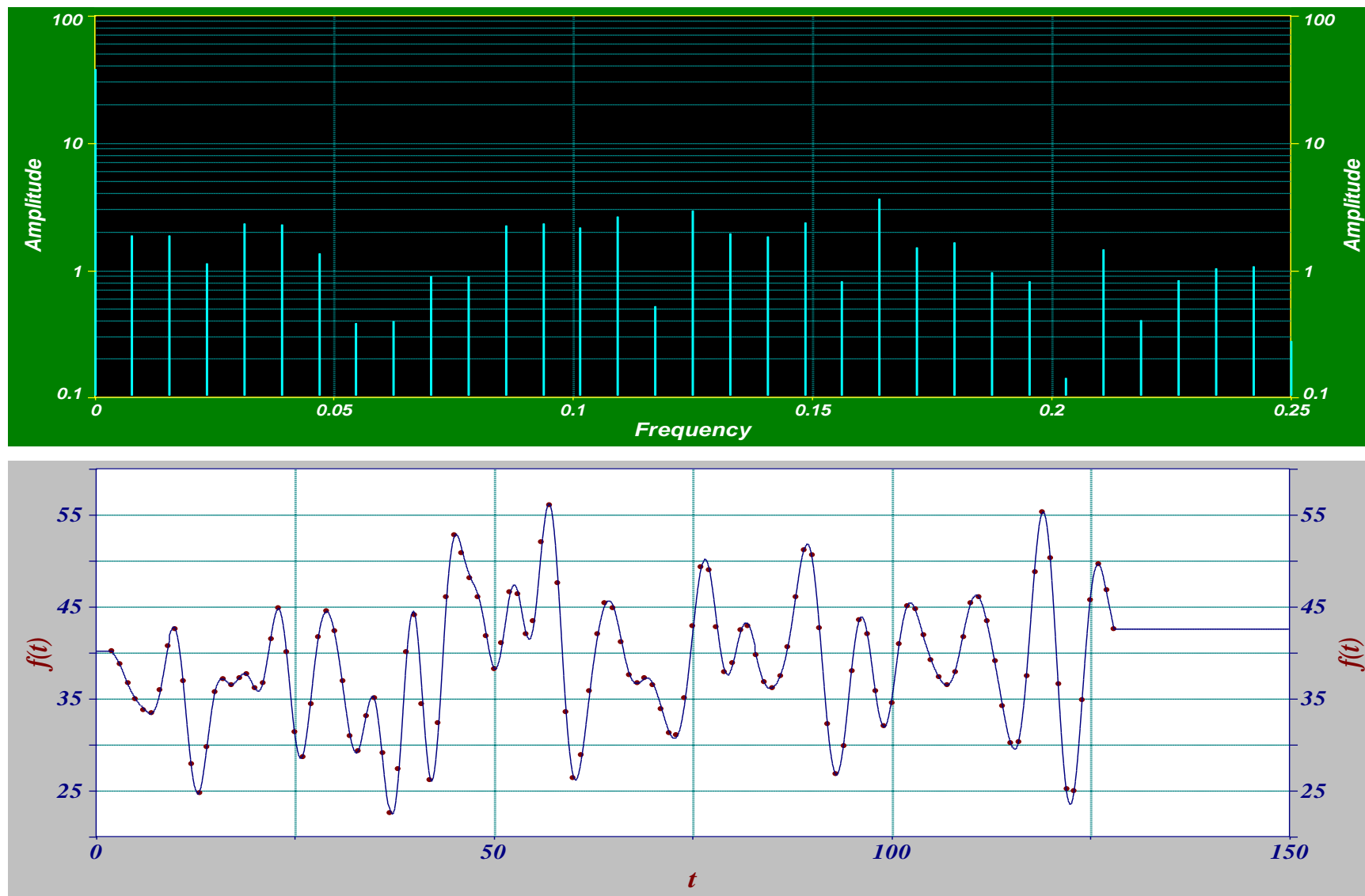


Рисунок 3.15 – Частотная и временная области функции изменения средних объемов работ для объекта А



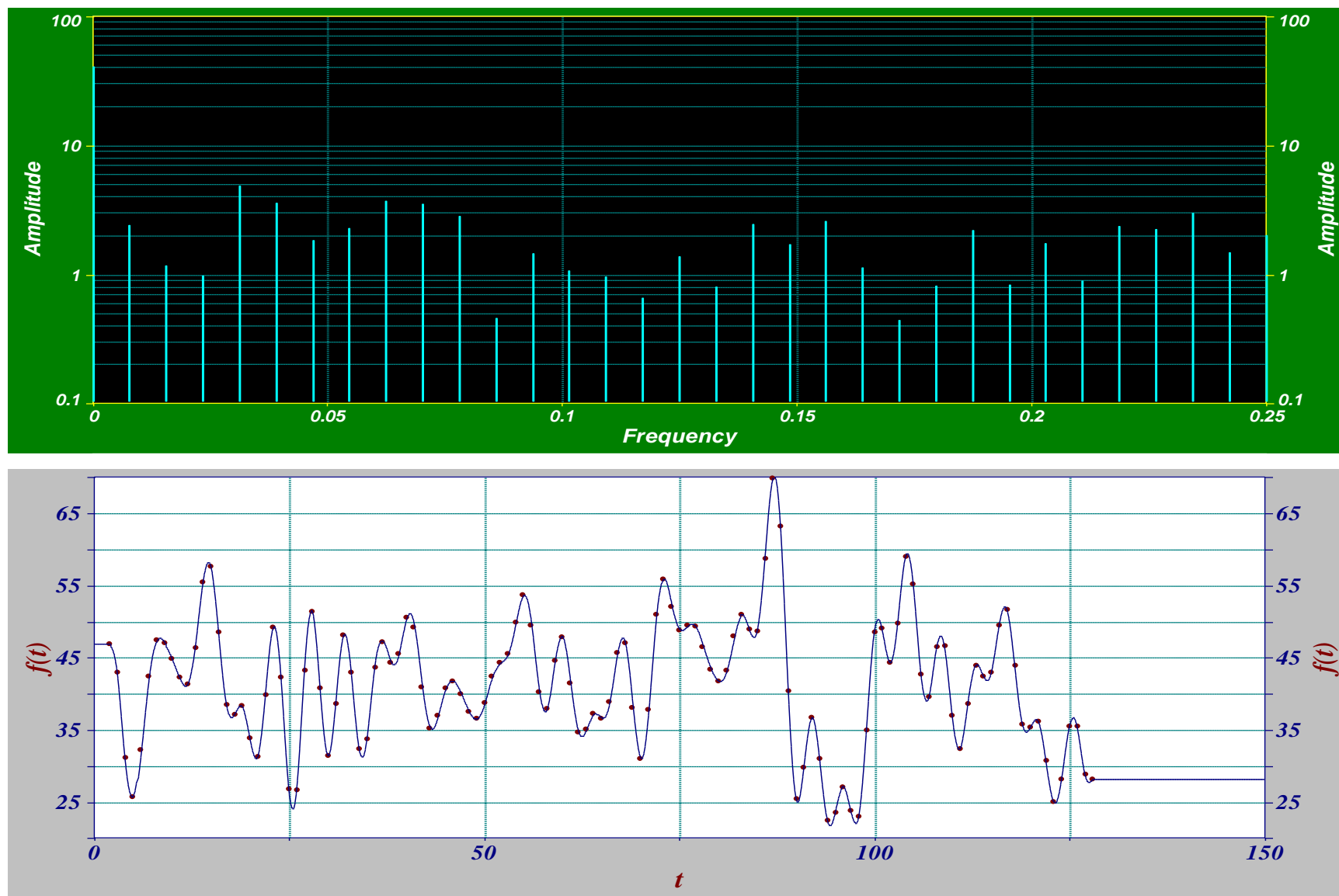


Рисунок 3.16 – Частотная и временная области функции изменения средних объемов работ для объекта Б

Исследование функции изменения средних объемов работ целесообразно проводить только с помощью тех приближений, суммарная мощность гармоник которых составляет 80%-90% от общей мощности рассматриваемого сигнала – функции изменения средних объемов работ, т. е. в таких приближениях отражены основные зависимости и закономерности сигнала. Рассмотрим 8-е приближение функции изменения средних объемов работ для объекта А и выделим зоны максимальных отклонений (рисунок 3.17). Мощность 8-го приближения составляет 97,6% от мощности всей функции изменения средних объемов работ.

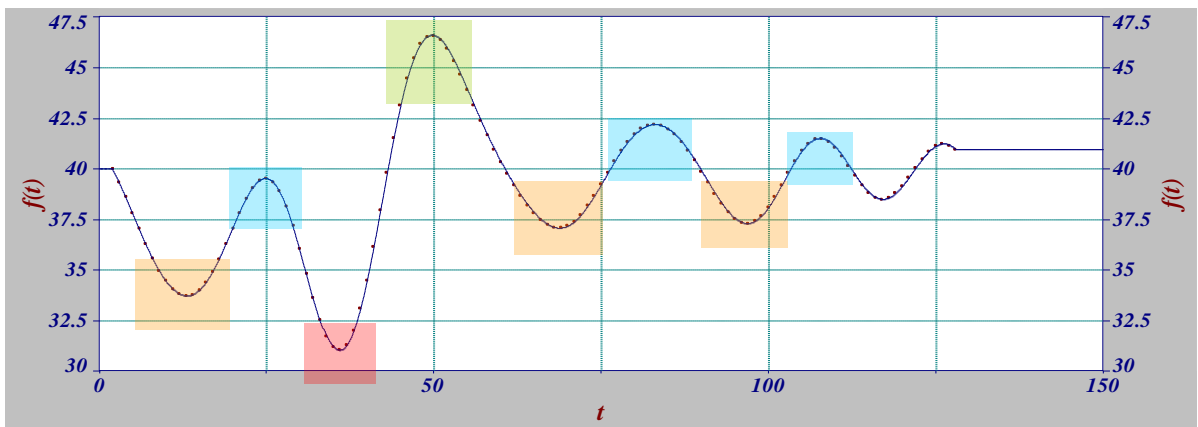


Рисунок 3.17 – 8-е приближение функции изменения средних объемов работ для объекта А

На основании собранных за исследуемый период времени статистических данных о погодных условиях на строительной площадке, работе строительной техники (поломке/плановой настройке), задержке в поставках строительных материалов, о графике движения рабочих, построенного на основании табелей учета рабочего времени, можно проанализировать причины отклонений значений средних выполненных объемов работ.

Минимальные значения среднего объема работ (красная зона) приходятся на первые недели ноября с 1-го по 12 дни. Анализируя собранные статистические данные о внешних факторах, влияющих на строительный процесс, можно сказать, что в первые две недели ноябрь трижды произошло обесточивание строительной площадки, продолжительностью отсутствия электроэнергии от часа до трех. Соответственно, в это время не производились никакие работы, связанные с использованием строительных машин и механизмов. Также, поскольку световой

день в ноябре является коротким, выполнение работ, не связанных с использованием строительных машин и механизмов, крайне затруднительно, а в вечернее время невозможно, поскольку велик риск травматизма и брака при выполнении работ. Второй причиной падения средних объемов работ на объекте А является большое количество отсутствующих рабочих в этот период времени по причине болезни.

Во второй половине ноября с 14-го по 27-е число значения средних выполненных объемов работ постепенно возрастают и достигают своего максимума за весь рассматриваемый период 4,5 месяца (зеленая зона). Анализируя причины столько резкого изменения выполняемых объемов работ можно сделать вывод, что выработка рабочих также резко возрастает, при относительно том же количестве людей на строительной площадке. Увеличение выработки и, соответственно, интенсивности труда, во второй половине ноября связано с тем, что совокупный объем выполненных работ по состоянию на 12 ноября составил 391,8 куб.м забетонированных конструкций, в то время как минимальный установленный план работ на месяц составляет 1200 куб.м забетонированных конструкций. Однако стоит отметить, что даже при столько возросшей выработке и интенсивности труда итоговый объем работ по результатам ноября составил лишь 1167,3 куб.м. Можно сделать вывод, что в период сезонных болезней и, в общем, некомфортного для работы времени года, необходимо регулировать количество рабочих, при необходимости увеличивая их количество. На рисунке 3.17 зоны, схожие по своему диапазону и типу отклонений, выделены оранжевым и голубым цветом.

С каждым новым приближением видно, как постепенно изменяется исследуемая функция. В каждой из ранее рассмотренных зон можно выделить подзоны и рассмотреть функцию изменения средних объемов работ более детально. С каждым новым приближением детализация исследуемой функции увеличивается. На рисунке 3.18 показано 12-е приближение функции.

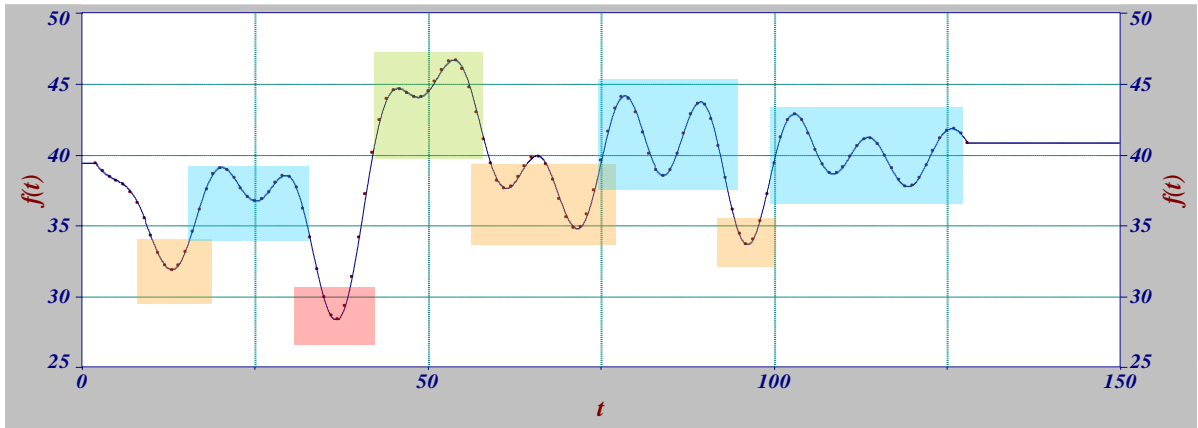


Рисунок 3.18 – 12-е приближение функции изменения средних объемов работ для объекта А

При 12-м приближении зона минимальных объемов работ (красная зона) осталась неизменной, однако зона максимальных объемов работ (зеленая зона) изменилась. Можно проследить, что значения средних объемов работ сначала возрастают, затем падают и снова возрастают. Такие колебания значений средних объемов работ можно сопоставить с изменением интенсивности работ, поскольку рабочие не могут в течение двух недель работать с одинаково максимальной интенсивностью. Оранжевые зоны изменились только в периоде времени с 28 ноября по 16 декабря. В этот период времени также наблюдаются колебания значений средних объемов работ. В синих зонах колебания объемов работ также изменились, при этом сохранилась общая закономерность колебаний в этих зонах. Остановимся на 14-м приближении функции, при котором все колебания значений средних объемов работ выражены более наглядно (рисунок 3.19).

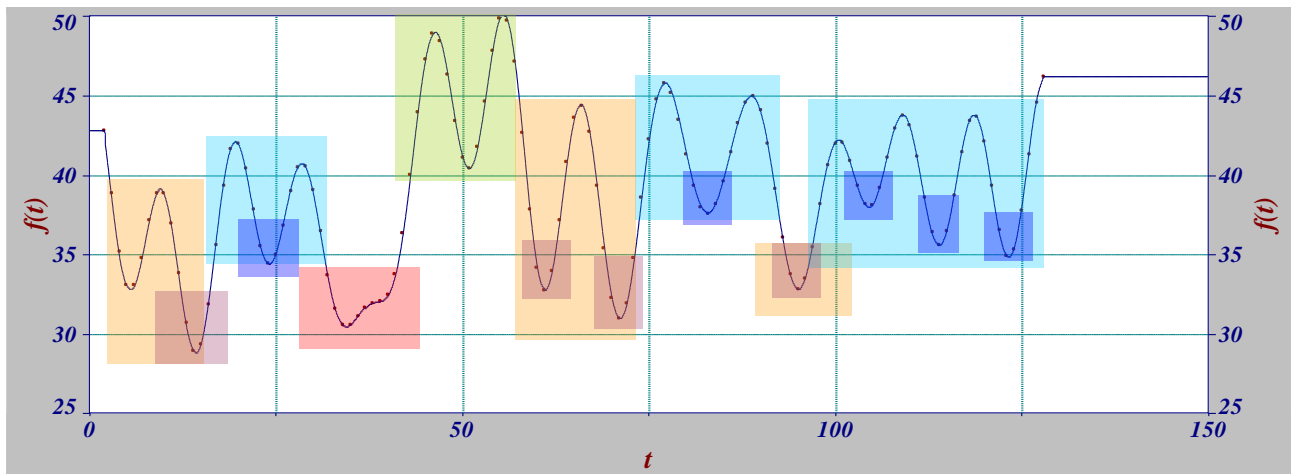


Рисунок 3.19 – 14-е приближение функции изменения средних объемов работ для объекта А

Стоит отметить, что зона минимальных объемов работ (красная зона) также практически осталась неизменной. Интерес для более детального рассмотрения представляют две оранжевые зоны, значения средних объемов работ в которых достигли минимальных. Для первой оранжевой зоны минимальные значения средних объемов работ относятся к периоду времени с 13 по 18 октября, для второй оранжевой зоны минимальные значения средних объемов работ относятся к периоду времени с 29 ноября по 3 декабря и с 9 декабря по 13 декабря. Третья оранжевая зона также имеет минимальные значения средних объемов работ в период времени с 8 по 12 января. На рисунке 3.19 рассматриваемые подзоны показаны в фиолетовых областях.

В периоды времени с 13 по 18 октября, с 29 ноября по 3 декабря, с 9 декабря по 13 декабря, с 8 по 12 января количество людей, работающих на строительной площадке, было оптимальным, в некоторые дни даже максимальным. Однако в данные периоды времени, и за 5-7 дней до рассматриваемых периодов, Службой технического надзора и приемки работ было выдвинуто несколько предписаний по срочному устранению замечаний, предъявленных к выполненным работам. Среди них были следующие замечания к выполненным работам со ссылками на нормативные документы, регламентирующие нормы выполнения рассматриваемых работ:

- навести порядок вокруг корпуса в плане хранения и складирования опалубки;
- провести доочистку и смазку щитов опалубки;
- переставить стойки, рамы опалубки перекрытий вертикально, чтобы избежать их повреждения под нагрузкой;
- отсутствует защитный слой арматуры (СП 70.13330.2012 п.5.16.21 таблица 5.10);
- конструкция стены после распалубливания имеет темный цвет (Технологическая карта на обогрев монолитных ж/б конструкций);

- на стенах после распалубливания имеется гравелистая поверхность, раковины более 5мм (СНиП 3.03.01-87 пп.2.112, 2.113);
- не использовать деревянные балки опалубки перекрытий в качестве подкладок, прокладок, подмостей;
- монолитная стена забетонирована с отклонением от проекта (размер поперечного сечения 170 мм, проект – 200 мм) (СП 70.13330.2012 п.5.16.16 таблица 5.10);
- при армировании конструкций нарушается минимальный диаметр загибов стержней арматуры (СП 52.101.2003 п.8.3.30);
- демонтировать дефектные арматурные каркасы и заменить их качественными изделиями;
- продублировать вертикальное армирование в наружных стенах отдельными стержнями;
- в плите перекрытия имеются трещины с шириной раскрытия более 0,2 мм (СП 70.13330.2012 таб. 12 Приложение Ц);
- бетонирование стен выполнено с отклонениями от проекта (смещение оконного проема от проекта 200 мм) (СП 70.13330.2012 таблица 12);
- в нижней части поверхности плиты перекрытия выявлены песчаные участки, а также гравелистая поверхность бетона (СП 70.13330.2012).

На устранение вышеперечисленных замечаний Службой технического надзора и приемки работ устанавливается срок в среднем от одного до двенадцати дней. Соответственно, в этот период времени основные работы по бетонированию новых конструкций, в т. ч. сборка/разборка опалубки, армирование, проводятся в меньшем объеме, т. к. основное рабочее время затрачивается в первую очередь на устранение замечаний согласно предписаниям.

Проанализируем синие зоны изменения средних объемов работ. Пики минимальных значений объемов работ приходятся на периоды времени с 24 по 26 октября, с 21-25 декабря, с 18 по 21 января, с 27 по 31 января, с 6 по 9 февраля (темно-синие подзоны на рисунке 3.19). Сначала рассмотрим возможные внешние

факторы, влияющие на изменение строительного процесса и, как следствие, на уменьшение выполняемых объемов работ. В периоды времени с 18 по 21 января, с 27 по 31 января, с 6 по 9 февраля на стройплощадке отсутствовала электроэнергия, средней продолжительностью по два часа. Также в конце января были существенные проблемы с поставками бетона.

Рассматривая внутренние факторы, влияющие на строительный процесс, анализируя таблицу учета рабочего времени и состав звеньев в тот или иной день, можно отметить, что в периоды времени с 24 по 26 октября, с 18 по 21 января, с 27 по 31 января, с 6 по 9 февраля, состав звеньев в сравниваемые дни был приблизительно одинаковым. В данном случае необходимо детально проанализировать ежедневный качественный состав звеньев, а именно: проанализировать образование рабочих, их опыт в строительстве, имеющийся разряд. На основании проведенного анализа необходимо рассмотреть возможность и целесообразность реформирования состава звеньев, работающих в тот или иной день, уволить или заменить рабочих с низкой квалификацией и выработкой.

Другие участки функции в синих зонах представляют собой всплески увеличения значений среднего объема работ. Анализируя участки положительного изменения средних объемов работ можно отметить, что в эти временные промежутки состав звеньев также схож, что опять же наглядно показывает, как меняется выработка при другом качественном составе звена.

Рассмотрение других приближений функции целесообразно для проведения еще более детального анализа причин изменения значений среднего ежедневного объема работ в более узкий исследуемый промежуток времени.

Рассмотрим 10-е приближение функции изменения средних объемов работ для объекта Б (рисунок 3.20) и выделим участки максимальных отклонений значений средних объемов работ. Мощность 10-го приближения составляет 98,1% от мощности всей функции изменения средних объемов работ.

Минимальные значения среднего объема работ (красная зона) приходятся на начало января с 5-го по 14-й день. В данный промежуток времени имели место

задержки в поставках бетона, неблагоприятные погодные условия. Количество рабочих было оптимальным, однако, выработка после праздничных дней оказалась очень низкой.

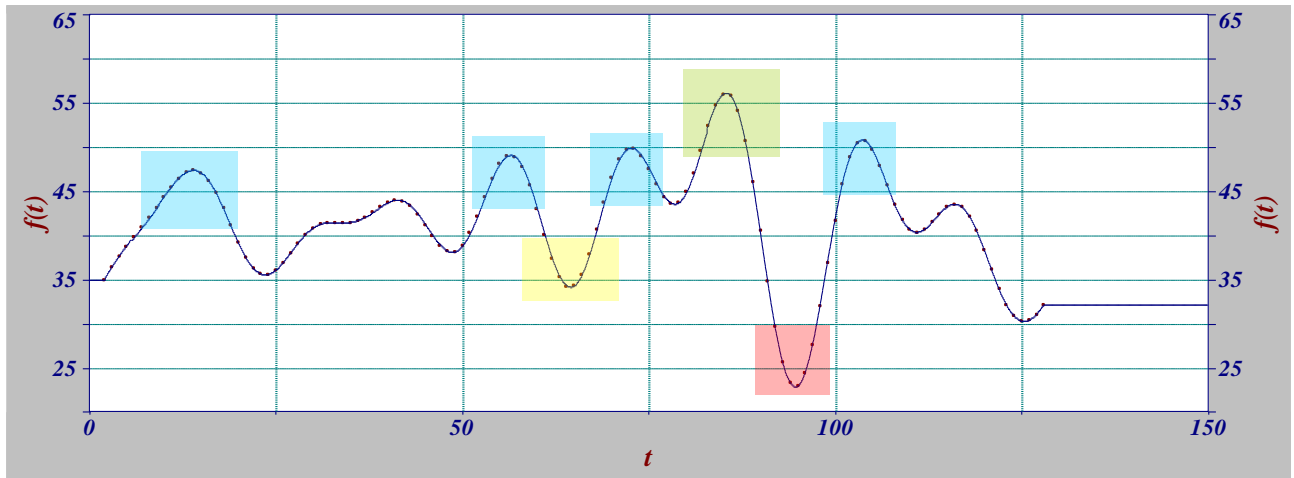


Рисунок 3.20 – 10-е приближение функции изменения средних объемов работ для объекта Б

Минимальные значения среднего объема работ (красная зона) приходятся на начало января с 5-го по 14-й день. В данный промежуток времени имели место задержки в поставках бетона, неблагоприятные погодные условия. Количество рабочих было оптимальным, однако, выработка после праздничных дней оказалась очень низкой.

Меньшее падение значений среднего объема работ относится к началу декабря с 1-го по 8-й день (желтая зона). В этот период времени происходило обесточивание строительной площадки дважды, продолжительностью отсутствия электроэнергии в течение 1-го часа, а также произошла поломка крана, который не работал в течение суток. Максимальное увеличение среднего объема работ приходится на конец декабря (зеленая зона). В данный период времени работало максимальное количество рабочих с максимальной выработкой. Это связано с необходимостью завершения и сдачи определенного объема работ в конце периода. Другие пики увеличения среднего объема выполняемых работ (синяя зона) приходились на 7-17 октября, 23-29 ноября, 10-16 декабря, 16-22 января. В эти периоды наблюдалось увеличение количества рабочих и выработки.

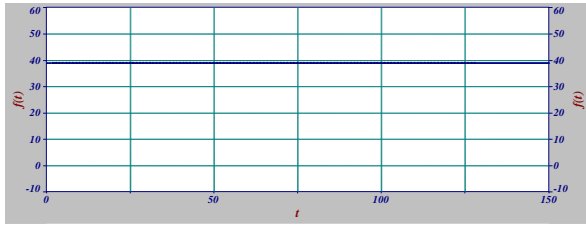


По результатам анализа функций изменения средних объемов работ для объект А и объекта Б с помощью различных приближений и на основании собранных статистических сведений можно сделать вывод, что на ход строительства влияют следующие основные факторы: выявление брака Службой технического надзора и приемки работ и, как следствие, проведение работ по его устранению рабочей бригадой, отключение электроэнергии на строительной площадке, поломка или настройка машин и механизмов, задержка в поставках строительных материалов, организация работы в бригаде. Разложим функции изменения средних объемов работ (для объекта А – функцию в 12-м приближении, для объекта Б – функцию в 10-м приближении) на отдельные гармоники с периодами  $T$ , соответствующие определенному фактору, влияющему на ход строительства (рисунок 3.21, 3.22).

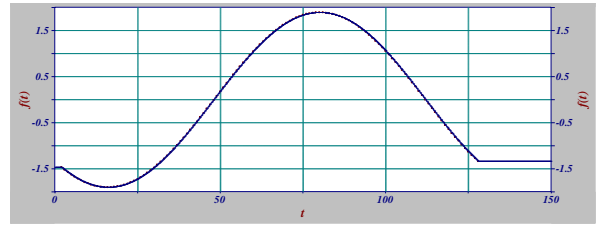
На рисунках 3.21 и 3.22 в верхней части отражены постоянные составляющие функций, отражающие среднее значение выполняемых объемов работ и первые гармоники, показывающие общие тенденции в ходе строительства.

В части рисунка 3.21 под буквой а) показаны 12-я, 11-я, 10-я, 9-я гармоники функции объекта А, в части рисунка 3.22 а) показаны 10-я и 9-я гармоники объекта Б. Периоды  $T$  данных гармоник связаны с возникновением и последующим устранением брака на строительной площадке. На рисунках 3.21, 3.22 под буквой б) показаны гармоники (5-я и 4-я для двух объектов), связанные с настройками машин и механизмов, под буквой в) показаны гармоники (8-я, 7-я, 6-я для двух объектов), связанные со случаями отключения электроэнергии на строительной площадке, под буквой г) показаны гармоники (3-я для двух объектов), относящиеся к нерабочему состоянию машин и механизмов вследствие поломки или неблагоприятных погодных условий, под буквой д) находятся гармоники (2-я для двух объектов), периоды  $T$  которых можно соотнести с задержкой в поставках строительных материалов.

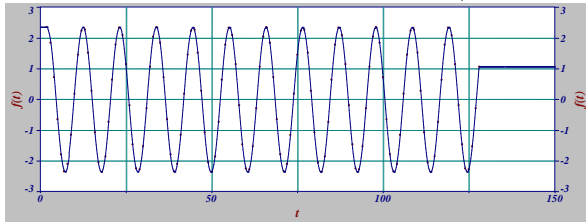
Для подтверждения выявленных периодичностей рассмотрим функции изменения средних объемов работ с помощью вейвлет-преобразований.



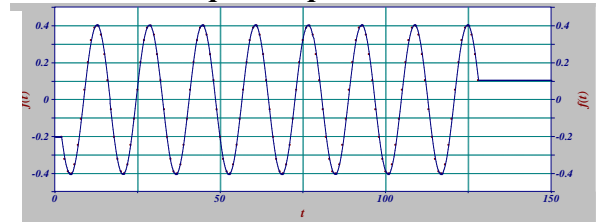
*Постоянная составляющая*



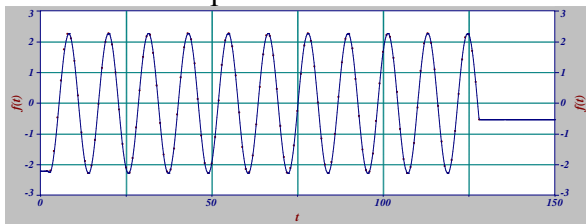
*Первая гармоника*



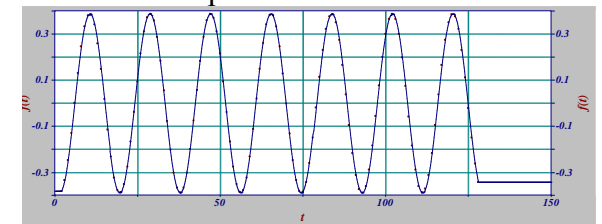
*12-я гармоника  $T=10$  дней*



*8-я гармоника  $T=16$  дней*

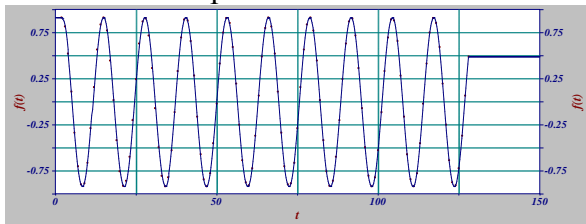


*11-я гармоника  $T=12$  дней*



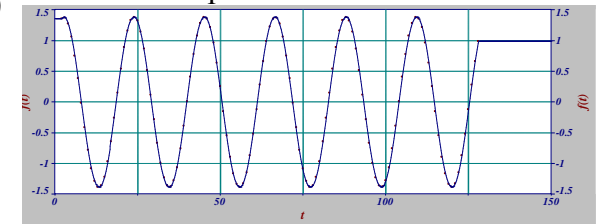
*7-я гармоника  $T=18$  дней*

**а)**

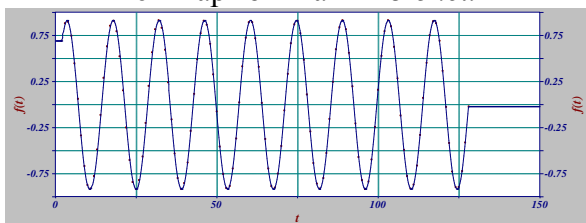


*10-я гармоника  $T=13$  дней*

**в)**

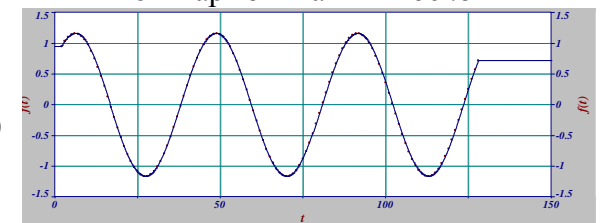


*6-я гармоника  $T=21$  день*

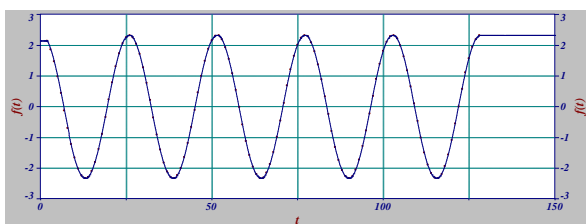


*9-я гармоника  $T=14$  дней;*

**г)**

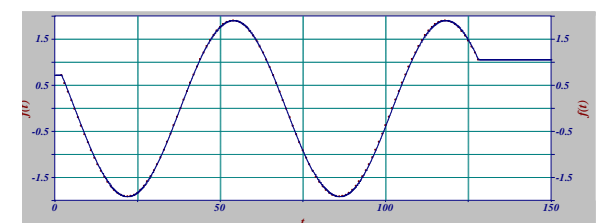


*3-я гармоника  $T=43$  дня*



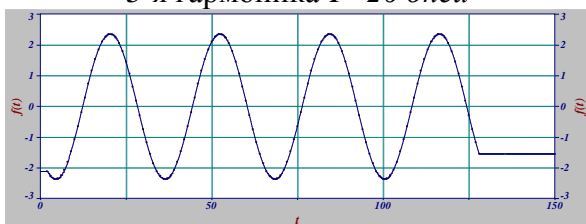
*5-я гармоника  $T=26$  дней*

**д)**



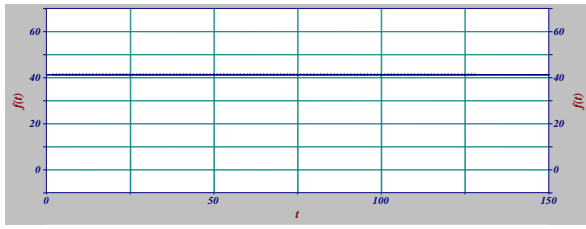
*2-я гармоника  $T=64$  дня*

**б)**

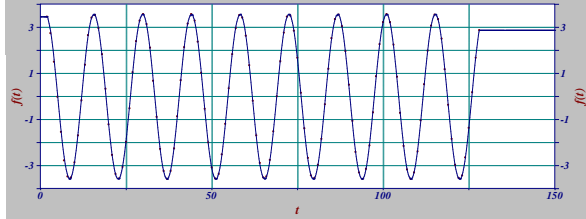


*4-я гармоника  $T=32$  дня*

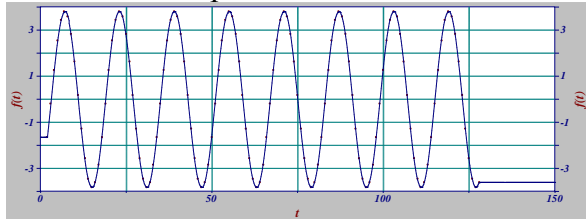
Рисунок 3.21 – Разложение 12-го приближения функции изменения средних объемов работ для объекта А на гармоники



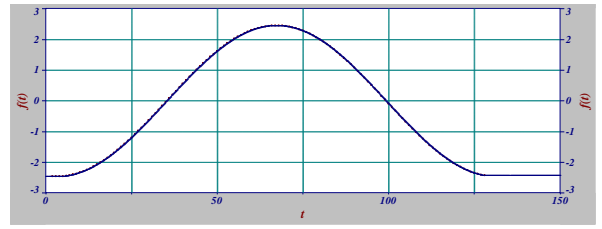
**Постоянная составляющая**



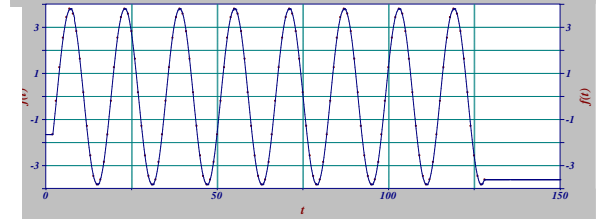
**10-я гармоника  $T=13$  дней**



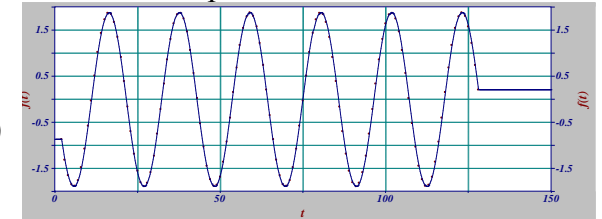
**9-я гармоника  $T=14$  дней;**



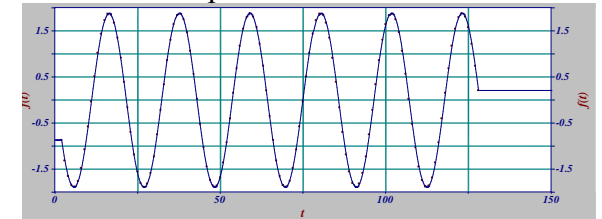
**Первая гармоника**



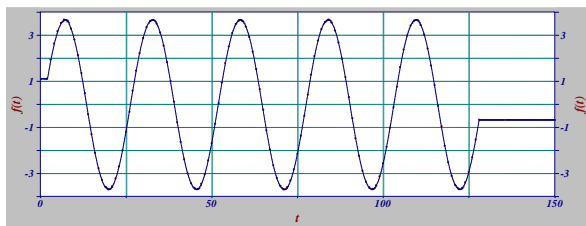
**8-я гармоника  $T=16$  дней**



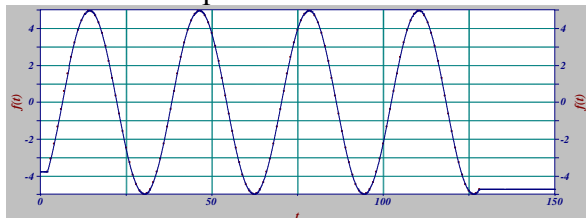
**7-я гармоника  $T=18$  дней**



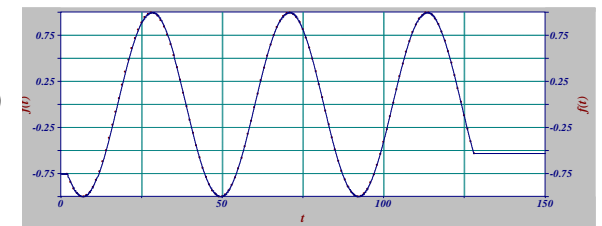
**6-я гармоника  $T=21$  день**



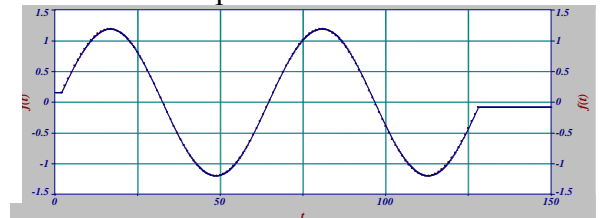
**5-я гармоника  $T=26$  дней**



**4-я гармоника  $T=32$  дня**



**3-я гармоника  $T=43$  дня**



**2-я гармоника  $T=64$  дня**

**а)**

**в)**

**б)**

**д)**

Рисунок 3.22 – Разложение 10-го приближения функции изменения средних объемов работ для объекта Б на гармоники

### 3.3. Исследование и моделирование локальных особенностей функции изменения средних объемов работ с помощью вейвлет-анализа

Исследуем функцию изменения средних объемов работ для объекта  $A$ , используя непрерывное вейвлет-преобразование. Все операции производятся в программе Matlab, для исследования функции использована дискретная аппроксимация вейвлета Мейера («dmeу»).

На рисунке 3.23 представлено несколько графиков:

а) показана функция изменения средних объемов работ;

б) показаны вейвлет-коэффициенты спектра  $W(a,b)$  в виде проекций на плоскость  $ab$  (временной масштаб, временной сдвиг), при этом в любой точке плоскости можно определить частоту, соответствующую определенному значению масштаба  $a$  и времени  $b$ . Цветом показаны значения спектра  $W(a,b)$  по модулю. Светлые области соответствуют большим значениям коэффициентов, темным тоном, как правило, фиксируются переходы сигнала через ноль, в нашем же случае за ноль принимается среднее значение сигнала. Оттенками серо-коричневых цветов в каждой области выделены диапазоны переходных значений спектра  $W(a,b)$ ;

в) для примера показаны значения спектра  $W(a,b)$ , которые соответствуют масштабу  $a=32$ ;

г) представлен спектр  $W_s(a,b)$  с хорошо выраженными линиями локальных максимумов, проходящими примерно посередине светлых областей плоскости  $ab$  графика б).

Исходная функция изменения значений средних объемов работ была разложена более чем на 60 уровней детальности. Подобное исследование функции можно сравнить с изучением географической карты различных масштабов. При максимальном масштабе карты видны общие закономерности рельефа, общий план, при увеличении масштаба – детализация составляющих элементов. Подобную ситуацию мы наблюдаем при анализе вейвлет-спектра исследуемой функции. В нижней части вейвлет-спектра, представленного в части б) рисунка 3.23 отчетливо видны высокочастотные компоненты сигнала, а в верхней –

низкочастотные, при этом с увеличением масштаба  $a$  изменения яркости сигнала и переходы его через среднее значение происходят все реже. Однако по такому вейвлет-спектру достаточно непросто выявить закономерности и причины изменений значений функции изменения среднего объема выполненных работ.

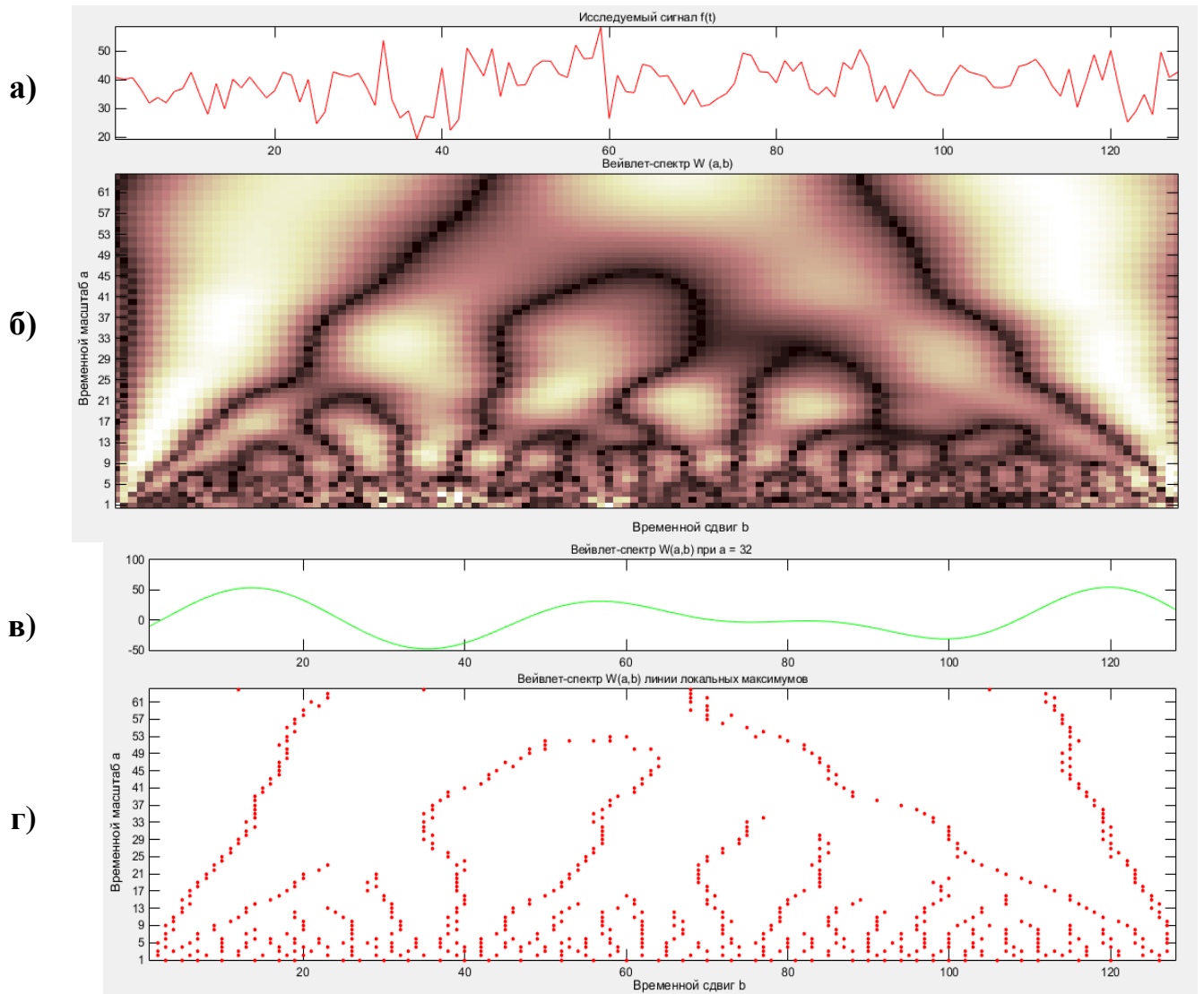


Рисунок 3.23 – Непрерывное вейвлет-преобразование функции изменения средних объемов работ на объекте А

Если построить вейвлет-спектр для ранее рассмотренного 14-го приближения функции изменения средних объемов работ для объекта А, то исходный «очищенный» сигнал дает более четкую картину. На рисунке 3.24 представлены вейвлет-спектры для 14-го приближения исследуемой функции, построенные также с помощью вейвлета «dmeu».

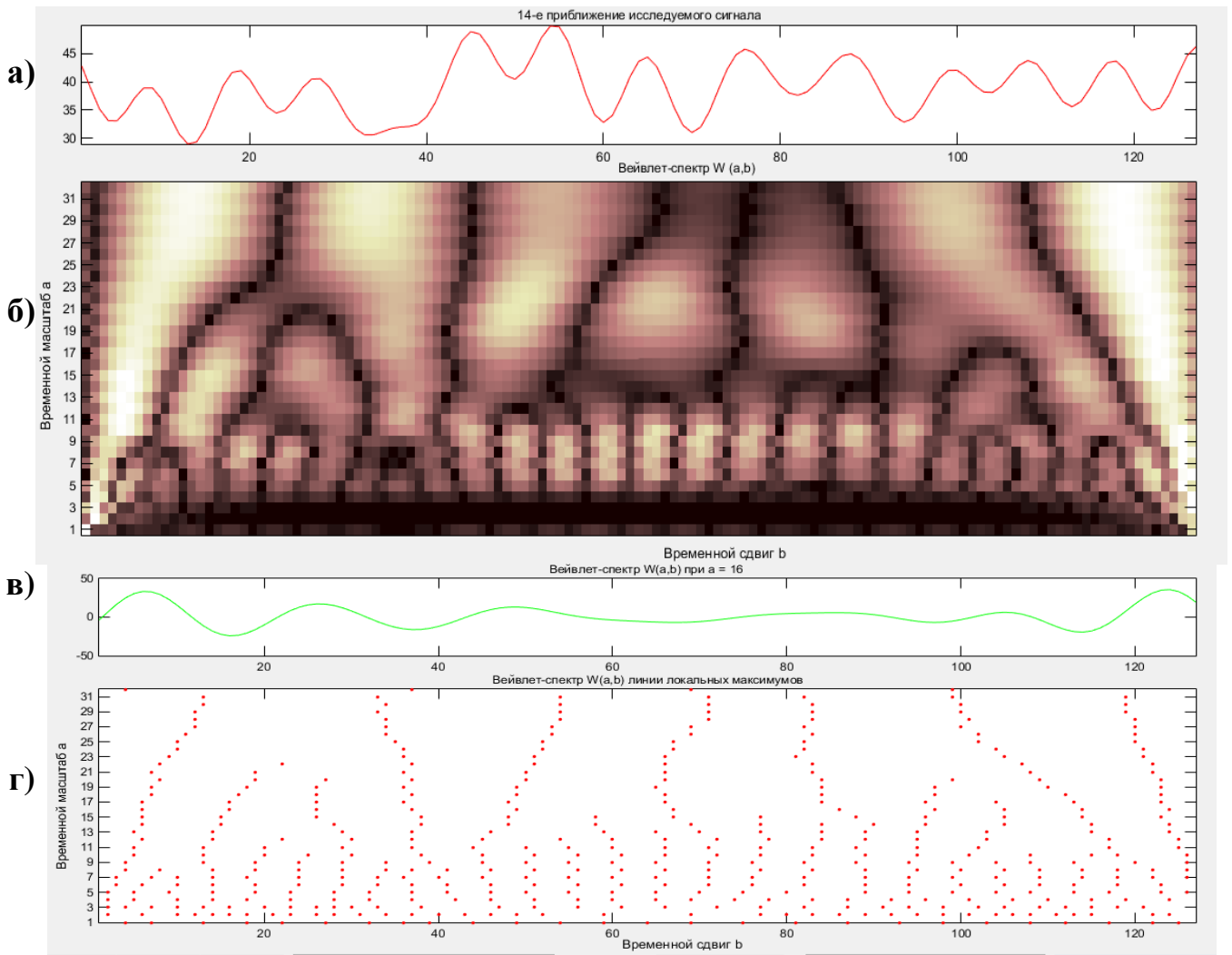


Рисунок 3.24 – Непрерывное вейвлет-преобразование 14-го приближения функции изменения средних объемов работ на объекте А

Функция изменения средних объемов работ в 14-том приближении стала более сглаженной (рисунок 3.24 а)), периодичность колебаний видна более заметно. Также периодичности перехода сигнала через средние значения (темный цвет) на разных масштабах прослеживается намного четче. Если ранее возникновение внешних и внутренних факторов, воздействующих на функцию изменения средних объемов работ, выявлялось путем различных приближений функции, от меньшего к большему, с последующим разложением функций на отдельные гармоники, то по вейвлет-спектру, можно отследить все «слои» изменений функции в разные периоды времени, благодаря различным уровням детализации, получаемым за счет изменяющегося масштаба  $a$ . Также стоит отметить, что количество уровней детализации вейвлет-спектра 14-го

приближения функции сократилось почти вдвое по сравнению с вейвлет-спектром исходной функции, т. к. функция 14-го приближения является более простой, нежели исходная. Чем больший масштаб имеет вейвлет, тем более широкая область сигнала будет оказывать влияние на результат [94]. Каждая из областей спектра  $W(a,b)$  формируется в результате воздействия на функцию тех или иных факторов.

Вейвлет-спектр выявляет не только иерархическую структуру анализируемого временного ряда, но и несет в себе информацию о процессах, происходящих в рассматриваемый период строительства объекта, в частности о влиянии внешних и внутренних факторов на систему. Анализируя вейвлет-спектр можно обнаружить глобальные взаимосвязи между различными параметрами строительства, а также влияние одних параметров на другие, в определенный промежуток времени. Анализируя чередование участков с различной частотной размерностью и то, как на функцию изменения средних объемов работ воздействуют внешние и внутренние факторы, можно прогнозировать поведение функции. И что самое главное – своевременно диагностировать и прогнозировать нестабильные состояния и моменты наступления критических отклонений функции.

При анализе вейвлет-спектров  $W(a,b)$  также анализировались линии локальных максимумов поверхностей, представленные на графиках г) рисунков 3.23, 3.24. Стоит также отметить, что программа Matlab позволяет построить вейвлет-спектры для любого выбранного промежутка времени функции (неделя, месяц), а не только для всего исследуемого периода, как сделано в рассматриваемом примере.

В таблице 3.10 приведены результаты анализа вейвлет-спектра  $W(a,b)$  для 14-го приближения функции изменения средних объемов работ и для исходной функции, на промежутке времени, равном 4,5 месяцам, 128 дням. Во второй графе таблицы приведены рассматриваемые уровни детальности вейвлет-разложения (временной масштаб  $a$ ), в третьей графе показаны средние значения периодов  $T_{cp}$ , в четвертой графе приведены средние стандартные ошибки периодов  $\sigma T_{cp}$ .

Таблица 3.10 – Анализ вейвлет-спектров  $W(a,b)$ 

№п/п	$a$ (уровень детальности)	$T_{cp}$ , дней	$\sigma T_{cp}$ , дней
14-е приближение функции изменения средних объемов работ			
1	7	4	$\pm 1,5$
2	15	10	$\pm 2,5$
3	25	19	$\pm 4,5$
4	с 5 по 25	70	$\pm 5,5$
Исходная функция изменения средних объемов работ			
5	40	25	$\pm 4,5$
6	61	45	$\pm 3$

Сопоставляя статистические данные со сведениями, полученными в таблице 3.10 можно установить, что периодичность, указанная в п.1 таблицы соответствует периодичности смен работы бригады. Наиболее четко данная периодичность прослеживается с 48 по 120 дни рассматриваемого периода. Едва заметно прослеживается в период времени с 4 по 44 дни. Цикличность, выявленная на 15 уровне детальности сопоставима с периодами устранения брака на объекте по предписаниям Службы технического надзора и приемки работ. При этом области, формируемые данными периодами, как видно из вейвлет-спектограммы на графике б) рисунка 3.24 по-разному влияют на работу бригады в разные смены. В период времени с 4 по 44 дни система работает более нестабильно, чем на других участках. Возможно, это связано с качественным и количественным составом бригад в это период, а дополнительная рабочая нагрузка в виде устранения брака привела еще к большей дестабилизации системы.

Также стоит отметить, что до 18-го уровня детализации хорошо видна небольшая поверхность, границы которой определены датами с начала рабочих дней января по 20 января. В этот период времени наблюдались задержки в поставках бетона на строительную площадку, что привело к смещению времени разгрузки и, соответственно, к смещению запланированного времени бетонирования конструкций. Аналогичную поверхность можно наблюдать в ориентировочных границах (границы поверхности изменяются с увеличением уровней детализации) с 18 октября по 3 ноября. Таким образом, можно сделать



вывод о том, что проблемы с поставками бетона случаются достаточно редко, примерной периодичностью в 70 дней, продолжительностью периода задержки, равной 11 дням.

Цикличность, выявленная на 25 уровне детализации соответствует собранным статистическим данным о периодах отключения электроэнергии на строительной площадке, при этом также хорошо видно, как влияют области (светлые участки) на выбранном уровне детальности на другие участки и параметры строительного процесса. Таким образом, именно вейвлет-спектр показывает нам скрытое влияние тех или иных событий, которое при использовании обычного преобразования Фурье определить просто невозможно.

Вернемся к исходной функции изменения средних объемов работ, вейвлет-спектрограмма которой представлена на рисунке 3.23, чтобы рассмотреть большие уровни детальности. Периодичность, указанная в п. 5 таблицы 3.10 соответствует дням плановой настройки и починки техники (в т. ч. башенного крана), в п. 6 указана средняя периодичность нерабочего состояния башенного крана по причине его поломки или неблагоприятных погодных условий на строительной площадке.

Исследование вейвлет-спектров любой функции можно осуществлять, пользуясь различными материнскими вейвлетами, т. к. каждый вейвлет выявляет новые особенности структуры функции. Однако, чтобы соотнести выявленные особенности функции с событиями, происходящими на строительной площадке, необходимо проделать огромную работу по сбору статистических данных. В работе сопоставление скрытых особенностей функции изменения средних объемов работ произведено только с теми внешними и внутренними факторами, сведения о которых удалось собрать за 4,5 месяца. Однако важно отметить, что будет неверным утверждать, что только эти факторы воздействуют на ход строительства. В действительности таких факторов намного больше, и изучение скрытых влияний и взаимосвязей этих факторов на строительную систему может стать отдельной областью для дальнейшего изучения.

Выявленные периодичности  $T_{cp}$  влияния внешних и внутренних факторов на ход строительства (таблица 3.11) с учетом средних стандартных ошибок периодов  $\sigma T_{cp}$  соответствуют периодам  $T$  гармоник 12-го приближения функции изменения средних объемов работ для объекта А и 10-го приближения функции изменения средних объемов работ для объекта Б, выявленных в работе ранее.

Таблица 3.11 – Периодичность влияния факторов на ход строительства

№п/п	Фактор	$T_{cp}$ , дней	$\sigma T_{cp}$ , дней
1	Посменная работа бригады (две через две смены)	4	$\pm 1,5$
2	Устранение брака по предписаниям Службы технического надзора и приемки работ	10	$\pm 3,5$
3	Обесточивание строительной площадки	19	$\pm 4,5$
4	Задержки в поставках строительных материалов	70	$\pm 5,5$
5	Плановая настройка машин и механизмов	25	$\pm 4,5$
6	Нерабочее состояние машин и механизмов	45	$\pm 3$

Построим круговую диаграмму влияния внешних и внутренних факторов на строительный процесс для одного месяца работы на основании всех ранее проведенных исследований (рисунок 2.26). Влияние факторов на диаграмме указано в процентах.



Рисунок 3.25 – Влияние внешних и внутренних факторов на строительный процесс, %

Как видно из диаграммы (рисунок 3.25), наибольшее влияние на строительный процесс оказывает организация работы бригады, включающая в себя простои, подбор квалифицированного персонала, формирование звеньев и графика работ, в т. ч. с учетом влияния внутренних и внешних факторов. Большое влияние на общий ход строительства оказывает значительный процент брака, что приводит к необходимости затрачивать дополнительное время бригады на его устранение, а также откладывать основные работы по бетонированию новых конструкций. Незначительное влияние на строительный процесс оказывают задержки в поставках строительных материалов, несколько больше – погодные условия, отсутствие электроэнергии и неисправность машин и механизмов.

Проведем анализ функции изменения средних объемов работ с помощью дискретного вейвлет-преобразования. Разложим исследуемую функцию изменения средних объемов работ для объекта А и для объекта Б в программе Matlab. В качестве базовой функции декомпозиции используем вейвлет Добеши (db) 1-го порядка. На рисунке 3.26 представлено дискретное вейвлет-преобразование функции изменения средних объемов работ для объекта А, на рисунке 3.27 – для объекта Б. Дерево вейвлет-разложения сигнала показано на рисунке 3.28, оно является одинаковым для функций объекта А и Б.

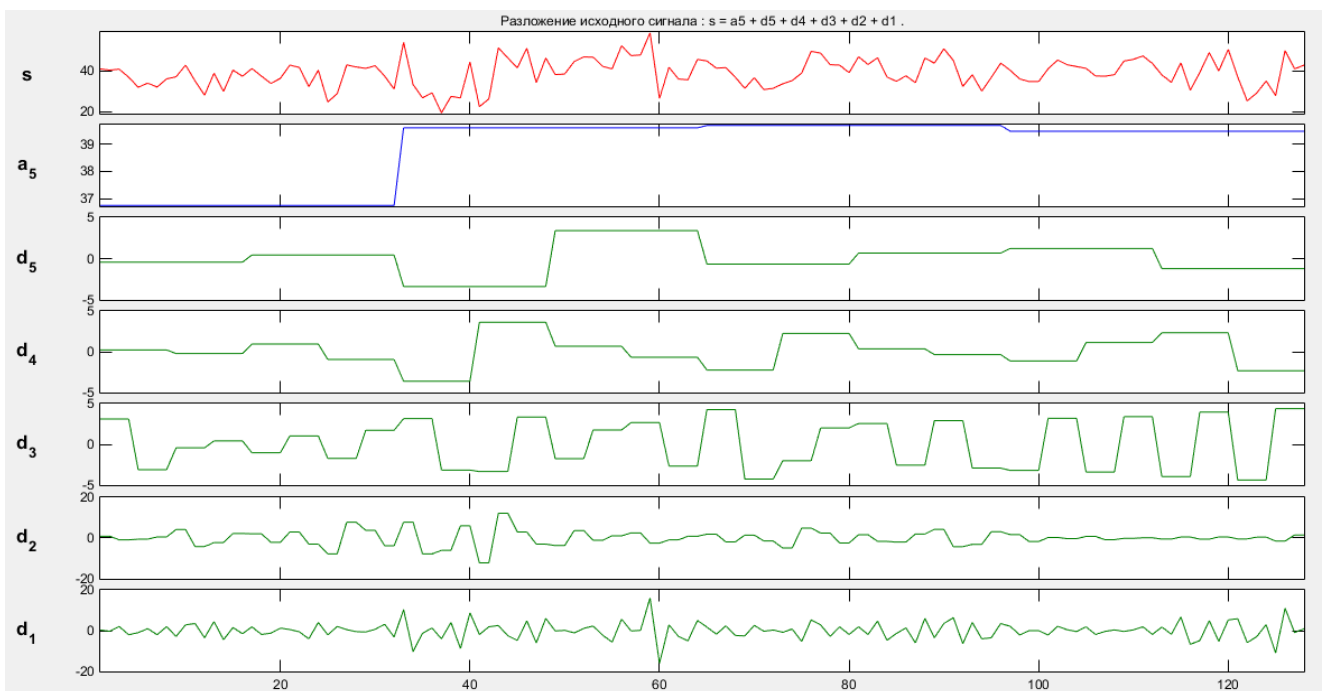


Рисунок 3.26 – Дискретное вейвлет-преобразование функции изменения средних объемов работ на объекте А

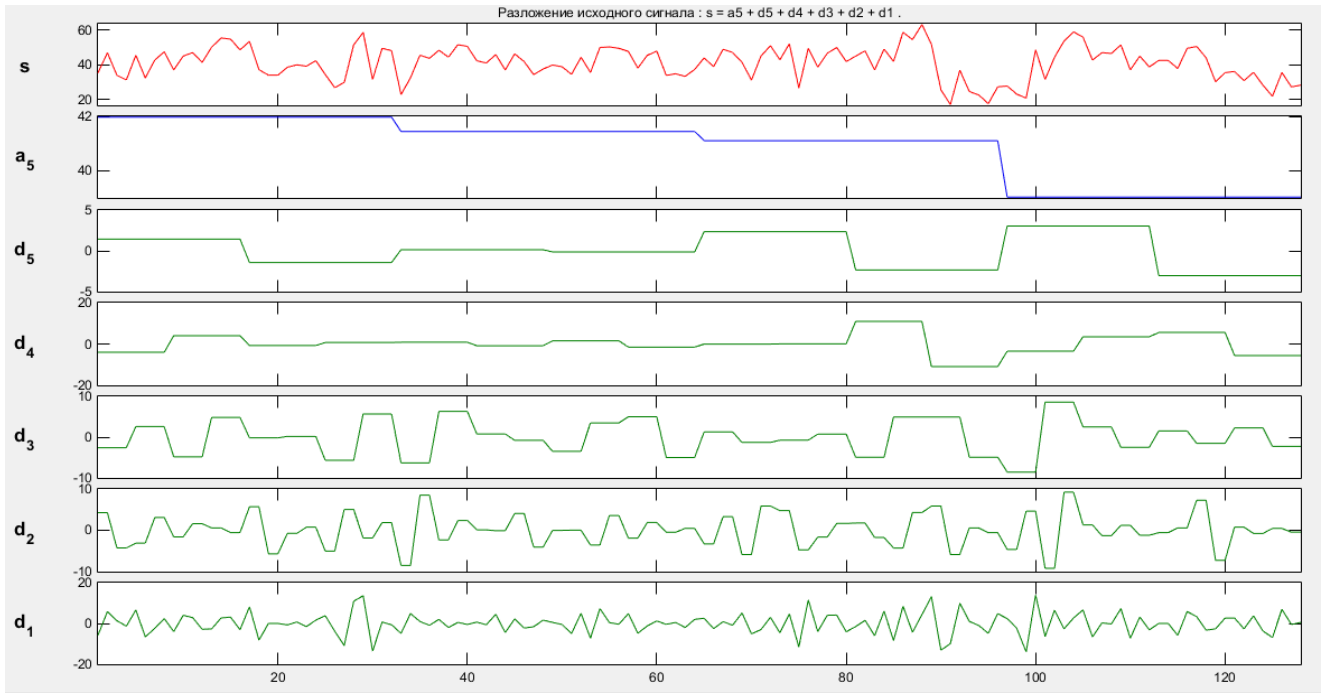


Рисунок 3.27 – Дискретное вейвлет-преобразование функции изменения средних объемов работ на объекте Б

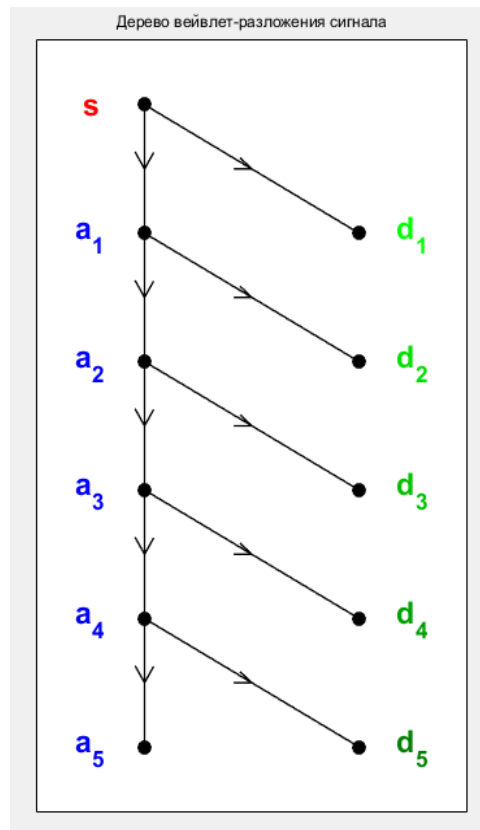


Рисунок 3.28 – Дерево вейвлет-разложения сигнала для объекта А и для объекта Б

На рисунках 3.26 и 3.27 в верхней части приведены графики исходной функции изменения средних объемов работ и графики компонент функции,

восстановленных по аппроксимирующим коэффициентам  $a_5$  и детализирующим коэффициентам  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5$ . Детализирующие коэффициенты показывают детали динамики на выделенных уровнях, при этом коэффициент  $d_1$  является наиболее близкой аппроксимацией к исходной функции, а  $d_5$  – наиболее далекой, которая показывает детали основной тенденции высокочастотных компонент временного ряда. Если привести аналогию с разложением Фурье, то можно сопоставить детализирующие коэффициенты с различными приближениями, формируемыми при сложении различных гармоник, входящих в состав исходной функции.

Низкочастотные фильтры  $a_1, a_2, a_3, a_4, a_5$  отражают глобальную информацию о временном ряде, а высокочастотные  $d_1, d_2, d_3, d_4, d_5$  – скрытые, детальные особенности временного ряда, которые часто оказываются полезными при прогнозировании процессов. На рисунках 3.26 и 3.27 представлен только один низкочастотный фильтр  $a_5$ . Из рисунков видно, в какие моменты времени возникают и исчезают различные всплески. Аналогичный подробный анализ причин их возникновения был проведен с различными приближениями функций при рассмотрении преобразования Фурье ранее, поэтому дополнительный анализ изменений функций при дискретном вейвлет-преобразовании проводиться не будет.

Остановимся более внимательно на графике низкочастотного фильтра  $a_5$ , отражающем основные тенденции низкочастотных компонентов. Из графика на рисунке 3.26 видно, что у функции изменения средних объемов работ для объекта А, на глубинном 5-м уровне декомпозиции выявляются две основных тенденции. Первая тенденция – средний объем выполненных работ в течение первого месяца работы (октябрь) равен 37 куб. м в день. Далее происходит изменение общей тенденции выполняемого ежедневного объема работ приблизительно 1-2 ноября. Далее основная тенденция выполняемых объемов работ – 40 куб. м в день.

На объекте Б ситуация противоположная. Если разделить весь период работ (4,5 месяца) также на две основных тенденции, за исключением незначительных изменений в первой, то первая тенденция заключается в ежедневном

выполняемом объеме работ, равном 41,5 куб. м, вторая – 39 куб. м в день. При этом изменение тенденции происходит приблизительно 11-12 января (рисунок 3.27). Таким образом, выявлена общая закономерность изменения выполняемых работ для объектов А и Б, которую из исходных функций изменения средних объемов работ определить не представляется возможным.

Для более детального исследования процессов необходимо проанализировать временные ряды с помощью различных вейвлетов, поскольку каждый имеет свои характерные особенности во времени и частоте, что позволяет полнее выявить свойства анализируемых функций изменения средних объемов работ.

Рассмотрим возможность исключения из функции изменения средних объемов критических отклонений, возникающих в результате воздействия на функцию различных внешних и внутренних факторов и приводящих к отклонениям функции от заданного тренда. В нашем случае заданным трендом является среднее значение выполняемого ежедневного объема работ (куб. м. забетонированных конструкций), изменения которого в течение рассматриваемого периода должны быть минимальными, особенно в сторону уменьшения значений средних объемов выполненных работ.

Исключение из функции изменения средних объемов работ критических отклонений осуществим по следующему алгоритму:

1. *Формирование ряда данных функции.* Определяются значение ряда данных и исследуемый промежуток времени.

2. *Обработка ряда данных функции.* Осуществляется комплексный анализ ряда данных с помощью преобразования Фурье и вейвлет-преобразований, выявляются максимальные и минимальные отклонения значений ряда данных, определяются внешние и внутренние факторы, воздействующие на функцию и приводящие к ее изменению, а также периодичность, с которой выявленные факторы возникают.

3. *Декомпозиция исходной функции.* Выбирается вейвлет, его порядок и количество уровней разложения функции  $N$ .

4. *Пороговая обработка детализирующих коэффициентов.* Для каждого уровня от 1 до  $N$  выбирается порог (в зависимости от поставленных задач) и применяется пороговая обработка детализирующих коэффициентов на тех участках функции, где необходимо минимизировать, или вовсе убрать критические отклонения функции от заданного тренда, возникающие в результате воздействия на функцию различных внешних и внутренних факторов.

5. *Реконструкция.* Производится восстановление значений ряда данных функции с помощью обратного вейвлет-преобразования, с учетом проведенной пороговой обработки каждого уровня разложения исходной функции. В итоге получается ряд данных функции без критических отклонений, т. е. такие значения функции в заданном промежутке времени, какими они могли бы быть, если бы не подвергались влиянию внешних и внутренних факторов.

6. *Календарное планирование.* Применяя значения параметров функции – средних объемов выполненных работ, с учетом воздействующих на функцию внешних и внутренних факторов, периодичности возникновения таких факторов, а также выявив значения средних объемов работ в любой момент рассматриваемого периода (4,5 месяца) без учета воздействия внешних и внутренних факторов, корректируется календарный план выполнения работ на прогнозируемый период (месяц, квартал). Определив, насколько сильно влияние тех или иных факторов на изменение значений среднего объема выполненных работ, а также как часто такое влияние происходит, можно варьировать количество рабочих в ту или иную смену, корректировать график работы бригады, вводить дополнительные дни проверки и настройки машин и механизмов, что позволит оптимизировать контроль ежедневных объемов выполняемых работ и сроки строительства.

Стоит отметить, что обратное преобразование Фурье также дает возможность восстановить исходную функцию после удаления критических отклонений. Однако обратное вейвлет-преобразование позволяет это сделать намного точнее.

Пример пороговой обработки детализирующих коэффициентов функции для объекта Б представлен на рисунке 3.29.

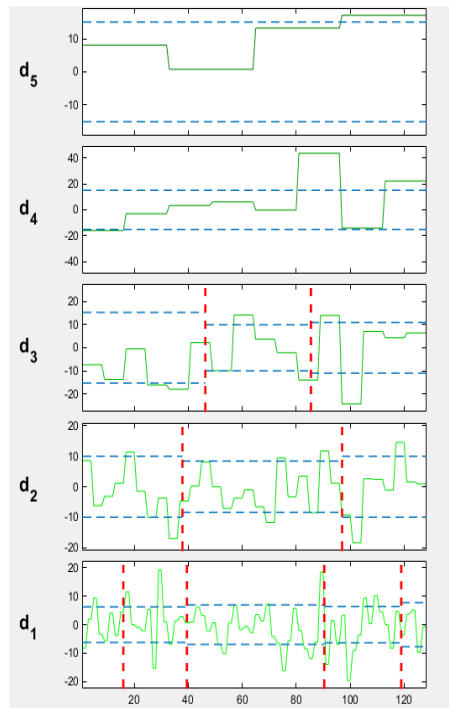


Рисунок 3.29 – Пороговая обработка детализирующих коэффициентов функции для объекта Б

Функция изменения средних объемов работ для объекта Б после пороговой обработки с минимальными критическими отклонения, представлена на рисунке 3.30.

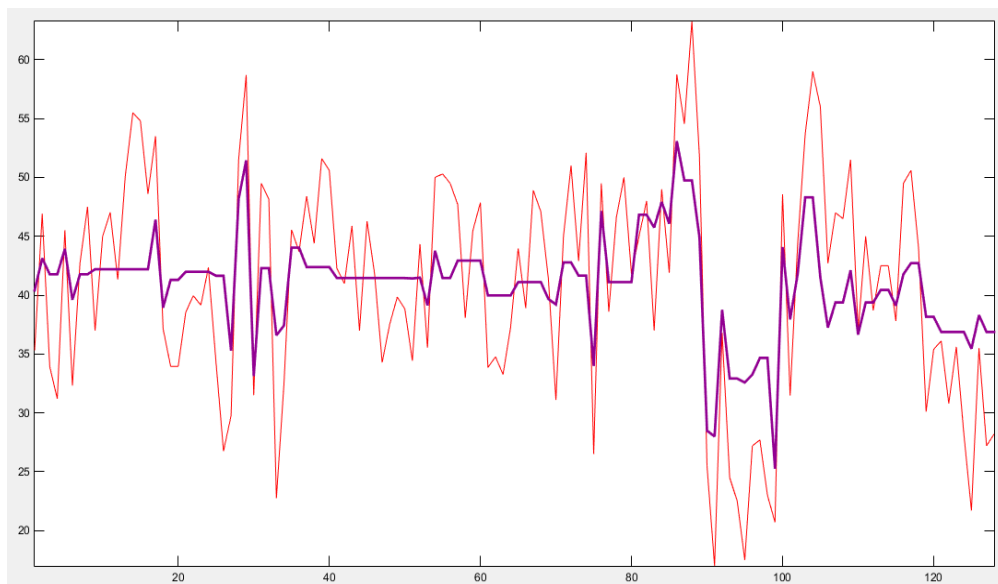


Рисунок 3.30 – Исходная функция изменения средних объемов работ для объекта Б и функция с минимальными критическими отклонениями

с1

— исходная функция  
— откорректированная функция



На первом этапе происходит комплексный сбор сведений о параметрах строительного процесса за определенный период времени строительства объекта. Сведения должны включать в себя информацию о ежедневных объемах выполняемых работ, о количественном и качественном (квалификационном) составе бригад, выполняющих такие работы. Также необходимо собрать сведения о внешних факторах, воздействующих на ход строительства: информацию о неблагоприятных погодных условиях, отключении электроэнергии на строительной площадке, о неисправности машин и механизмов, и о внутренних факторах: графике работы строителей, невыходах и прогулах, несоответствии разряда рабочих выполняемой ими работе и т. д.

Сбор сведений производится непосредственно на строительной площадке (рабочем горизонте), у бригадиров, прорабов и у начальника участка. Сведения о разряде, возрасте, образовании, стаже работы строителей могут быть получены в Управлении персоналом, сведения о внешних факторах, воздействующих на строительную систему, – в Службе технического обеспечения строительной площадки, информация о допущении брака в работе – в Службе технического надзора и приемки работ.

На втором этапе происходит всесторонняя обработка полученных статистических сведений за рассматриваемый период. Формируется ряд данных о выполненных объемах работ, строится календарный план работ и график движения рабочих, определяется коэффициент неравномерности движения рабочих. На основании табелей учета рабочего времени определяется график работы бригады, а также количественный и качественный состав рабочих в каждую смену. Анализируются сведения о профессиях, разрядах, опыте и образовании рабочих.

Если сведения собраны не в полном объеме, необходимом для дальнейшей работы, то следует вернуться к первому этапу и собрать недостающую информацию.

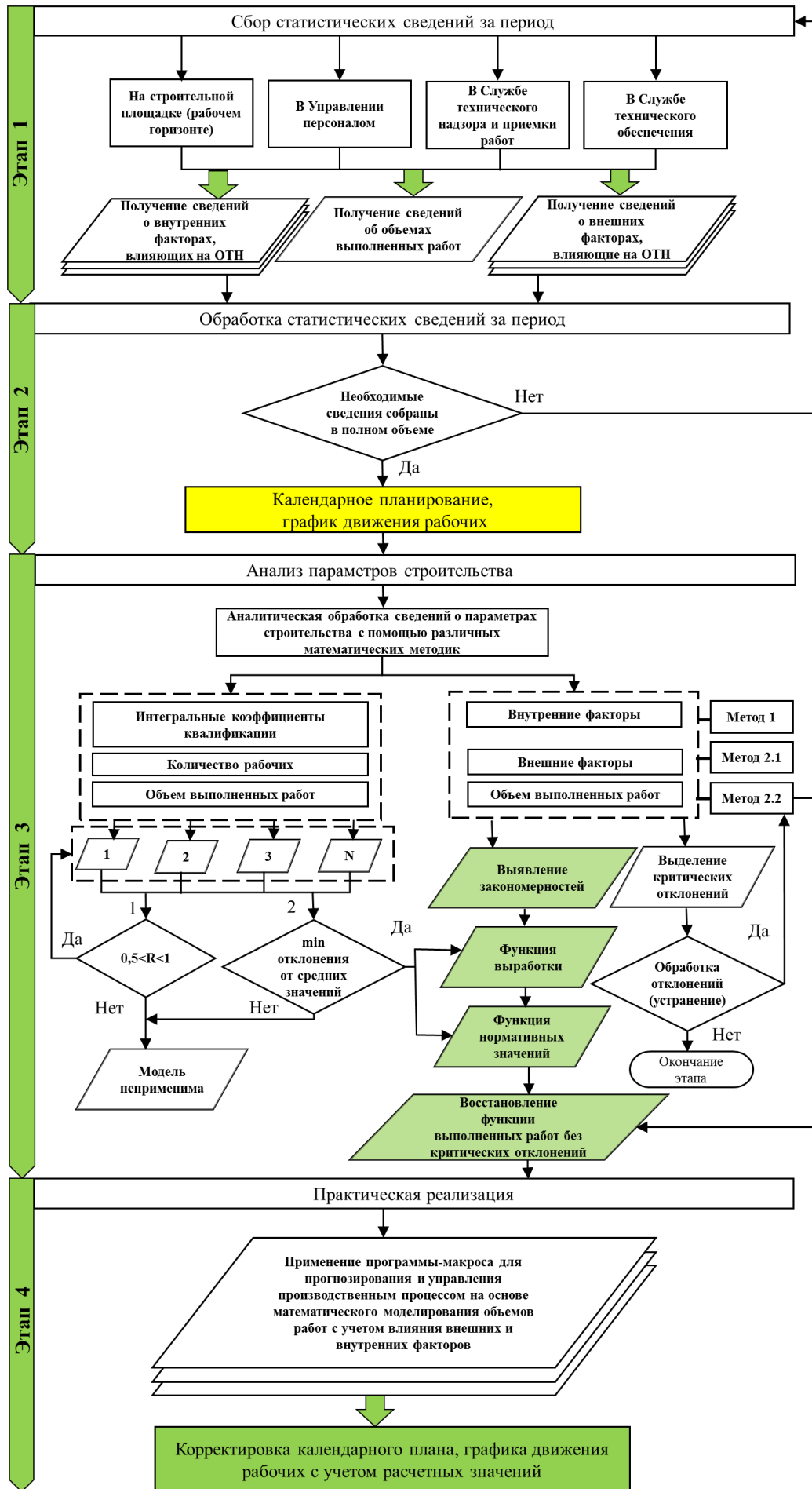


Рисунок 3.31 – Схема алгоритма повышения ОТН строительства

На третьем этапе проводится аналитическая обработка сведений о параметрах строительного процесса с помощью математических методик. Сформированный ряд данных об объемах выполненных работ анализируется с помощью анализа Фурье, с помощью различных приближений функций изменения средних объемов работ, с помощью непрерывного и дискретного вейвлет-преобразований, при этом учитываются внешние и внутренние факторы, воздействующие на ход строительства. На основании полученных сведений о разряде, опыте работы, возрасте, стаже рабочих разрабатываются интегральные коэффициенты квалификации для каждого рабочего в отдельности и для каждой рабочей смены в целом. Сведения об интегральных показателях квалификации анализируются вместе со сведениями о количестве рабочих в смену и объеме выполненных работ. Результатом третьего этапа работ является выявление закономерностей в ходе строительства, допустимых и недопустимых отклонений. Некоторые критические отклонения могут быть скорректированы или удалены с последующим восстановлением значений сведений о параметрах строительного процесса без отклонений. Также на третьем этапе разрабатывается функция выработки и функция оптимизированных (нормативных) значений ежедневных объемов работ, которые закладываются в основу программы-макроста, разрабатываемой на четвертом этапе.

Завершающим этапом реализации методики является разработка программы-макроста, в основе работы которой заложены полученные на третьем этапе работы сведения о выявленных закономерностях, отклонениях, тенденциях строительства за анализируемый период. Основная задача программы-макроста заключается в оптимизации задач календарного планирования и корректировке графика движения рабочих с учетом всех факторов, воздействующих на ход строительства, разработанных математических моделей, учитывающих квалификационный, количественный уровень рабочих в бригаде и ежедневные объемы выполняемых работ. Результатом реализации четвертого этапа методики является откорректированный календарный план работ и график движения рабочих.

### Выводы по третьей главе

1. Исследование зависимости между параметрами строительного процесса: средним интегральным показателем квалификации смены, количеством рабочих в смену и средним ежедневным объемом выполненных работ на основе коэффициента корреляции показало, что при описании связи линейными уравнениями, коэффициент корреляции ниже значения 0,5. Следовательно, использовать линейные уравнения для описания взаимосвязи между рассматриваемыми параметрами нецелесообразно. Значения коэффициентов корреляции больше 0,5, а во многих случаях близко к 1, достигается при описании связи между параметрами с помощью полиномов Чебышева от двух переменных третьего, четвертого, пятого, шестого порядков. Однако, вычисления при помощи данных функций достаточно трудоемки. Производственная функция Кобба-Дугласа показало значения коэффициентов корреляции близкими к 1. Функция проста в использовании и идеально подходит для описания рассматриваемых зависимостей.

2. Введена *функция выработки*, описывающая связь между рассматриваемыми параметрами строительного процесса: средним интегральным показателем квалификации смены, количеством рабочих в смену и средним ежедневным объемом выполненных работ. Функция выработки дает возможность в соответствии с заданным значением объема работ подбирать оптимальный количественный и качественный (квалификационный) состав бригадного звена для работы в следующий период времени.

3. Введена *функция оптимизированных объемов работ*, которая отражает взаимосвязь основных параметров строительного процесса. Значения функции оптимизированных объемов работ следует использовать в качестве норматива для календарного планирования.

4. На основании статистических сведений о ежедневных объемах выполненных работ на двух объектах за 4,5 месяца, а также о внешних и внутренних факторах, воздействующих на строительную систему, сформированы

исходные массивы данных для построения функций изменения средних объемов работ.

5. Определены периодичности воздействия внешних и внутренних факторов на функции изменения средних объемов работ, а также степень влияния различных факторов на строительство с помощью преобразования Фурье с применением алгоритма БПФ, и с помощью непрерывного и дискретного вейвлет-преобразований. Выявлено, что наибольшее влияние на ход строительства оказывает организация работы бригады, возникающие простои в работе, подбор квалифицированного персонала, формирование звеньев и графика работ, в т. ч. с учетом влияния внутренних (сезонные болезни) и внешних факторов (неисправность машин и механизмов, задержки в поставках материалов).

6. Разработан алгоритм исключения критических отклонений из функции изменения средних объемов работ, возникающих в результате воздействия на функцию различных внешних и внутренних факторов.

7. Разработана методика повышения ОТН строительства, позволяющая оптимизировать календарный план и график движения рабочих, на основе математических моделей, учитывающих квалификационный и количественный уровень рабочих в бригаде и ежедневные объемы выполняемых работ с учетом внутренних и внешних факторов, воздействующих на ход строительства.

## **Глава 4. Разработка методики прогнозирования и управления производственным процессом на основе математического моделирования объемов работ**

### **4.1. Инструментальное обеспечение методики**

Практическая реализация методики повышения ОТН строительства на основании автоматического подбора качественного и количественного состава рабочих в определенную смену в зависимости от заданных объемов работ, осуществляется на основании разработанной программы-макроса на базе программы EXEL. Программа предусмотрена для использования непосредственно на строительной площадке начальником строительного участка, сменными прорабами и бригадирами. Листинг программы представлен в Приложении Д.

Рассмотрим принцип введения данных в программу. Возьмем за основу статистические сведения о фактических объемах работ, выполненных на объекте Б за октябрь 2014. Интерфейс программы в части ввода сведений об объемах работ представлен на рисунке 4.1.

Первая строка «План/м<sup>3</sup>» предназначена для заполнения начальником участка. По результатам анализа результатов предыдущего периода (месяца, квартала) начальник участка прогнозирует ориентировочные объемы работ на будущий месяц. При этом плановые объемы работ могут корректироваться начальником участка в течение месяца. Под объемами работ подразумеваются куб. м забетонированных конструкций в день. План по бетонированию конструкций должен составляться с учетом минимального заданного объема работ в месяц. На рассматриваемом объекте план забетонированных конструкций в месяц составляет 1200 куб. м. Ежедневные планируемые к выполнению объемы работ указываются на графике, расположенном под таблицей для ввода данных, серой пунктирной линией.

Строки «Расчет/м<sup>3</sup>», «Граница min /м<sup>3</sup>», «Граница max /м<sup>3</sup>» заполняются автоматически на основании статистических данных за предыдущий месяц или по окончании текущего периода. Поскольку в рассматриваемой работе октябрь

является первым отчетным периодом, сведения в ячейках данных строк отсутствуют.

Значения ячеек в строке «Расчет/м<sup>3</sup>» вычисляются автоматически по формуле функции выработки (3.5), при этом коэффициенты эластичности  $\alpha$ ,  $\beta$  вычисляются по статистическим сведениям о ежедневном количестве рабочих и ежедневном среднем интегральном коэффициенте квалификации смен за предыдущий месяц.

Значения ячеек «Граница min/м<sup>3</sup>», «Граница max/м<sup>3</sup>» – это установленные пороговые значения (минимальная и максимальная границы отклонения), формирующие зону допустимых значений фактически выполненных объемов работ. Нижняя и верхняя границы устанавливаются автоматически в процентном соотношении от значений функции оптимизированного объема работ. Значения функции оптимизированного объема работ определяются по формулам (3.10), (3.11), (3.12). Общая методика построения функции оптимизированных объемов работ описана в Главе 3 п. 3.1. На графике под таблицей значений объемов работ пунктирными линиями указываются только границы допустимых отклонений (светло-синей линией нижняя граница, темно-синей верхняя граница), значения самой функции оптимизированного объема работ на графике не отображаются. На усмотрение начальника участка нижние и верхние границы могут иметь разные значения и изменяться в течение рабочего периода. В среднем нижние и верхние границы отклонений можно устанавливать как 10%-15% от функции оптимизированных объемов работ.

Строчки «Факт/м<sup>3</sup> (ПП)» и «Факт/м<sup>3</sup> (ПК)» заполняются сменными прорабами. «Факт/м<sup>3</sup> (ПП)» – это фактический объем забетонированного участка плиты перекрытия. «Факт/м<sup>3</sup> (ПК)» – это фактический объем забетонированных прочих конструкций, включающих в себя стены, колонны и т. д. Данные о фактических объемах забетонированных конструкций заполняются в конце смены прорабом по результатам фактически выполненных работ бригадой.

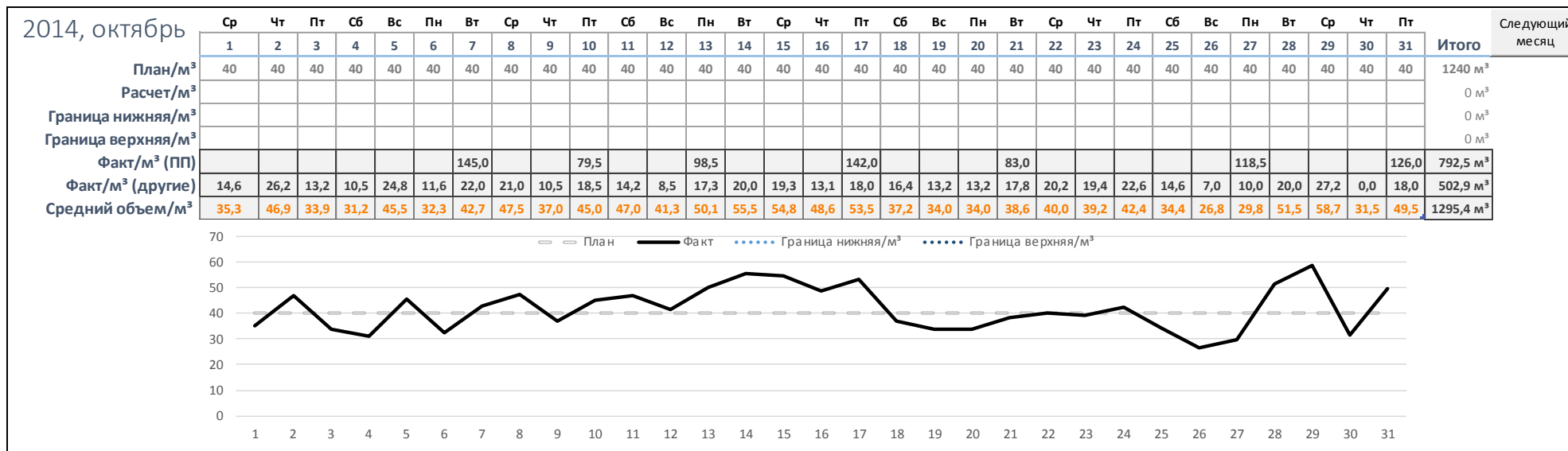


Рисунок 4.1 – Интерфейс программы-макроса.  
Сведения об объемах работ



На основании сведений, заполненных в ячейках строчек «Факт/м<sup>3</sup> (ПП)» и «Факт/м<sup>3</sup> (ПК)» автоматически заполняется строчка «Средний объем/м<sup>3</sup>». Вычисление среднего объема забетонированных конструкций в день производится по формуле (3.13). Средний объем графически показан под таблицей данных об объемах работ черной линией.

В верхнем левом углу таблицы указан текущий год и месяц. В конце основной таблицы с данными об объемах работ в колонке «Итого» указаны суммарные значения объемов работ за весь месяц для каждой строки данных. В верхнем правом углу расположена кнопка «Следующий месяц», автоматически создающая новую вкладку в программе для следующего периода. При этом все необходимые статистические сведения из предыдущего периода, например, коэффициенты эластичности для функции выработки, запоминаются программой и также переносятся в новую вкладку следующего периода автоматически. Данные сведения являются дополнительными, необходимыми для дальнейших расчетов, поэтому в основной пользовательский интерфейс программы они не выводятся.

Рассмотрим второе окно программы, предназначенное для введения сведений о графике работы строителей (рисунок 4.2).

Сведения о ежедневном количестве людей на строительной площадке заполняются бригадиром. Перед началом работы смены бригадир выбирает свою фамилию в выпадающем списке выбранной ячейки (рисунок 4.3). То же самое делает прораб, работающий в эту смену. Далее бригадир отмечает присутствующих и отсутствующих рабочих. Для каждой ячейки графика работ предусмотрено несколько условных обозначений:

- «Х» – рабочий присутствует на строительной площадке (также можно указать цифрой количество отработанных часов в смену);
- «Б» – рабочий отсутствует на строительной площадке по причине болезни;
- «О» – рабочий находится в отпуске.

Допустимо по согласованию с начальником участка вводить для графика работы дополнительные обозначения статуса рабочего.



План на неделю	Бригадир		Прораб																											
	Петров	Иванов	Соколов	Ворожьев	Синицын	Соколов	Ворожьев	Синицын	Соколов	Ворожьев	Синицын	Соколов	Ворожьев	Синицын	Соколов	Ворожьев	Синицын	Соколов	Ворожьев	Синицын	Соколов	Ворожьев	Синицын	Соколов	Ворожьев	Синицын	Соколов	Ворожьев	Синицын	
Рабочий	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	Иванов Петров Сидоров
Агадaшев			x	x	x		x	x	x		x	x		x	x			x	x			x	x	x		x	x			
Анaньев	x	x			x	x	x	x	x				x	x	x	x			x	x			x	x		x	x	x	x	
Бaлaшов	x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x				x
Берин	x	x			x	x	x	x	x	x			x	x		x	x	x			x	x			x	x			x	x
Бoкoв	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x				x	x
Будaнoв		x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			Б	Б	Б	Б	
Букaтoв		x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			
Вaсильев			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x			
Вepхoрyбoв	x	x			x	x	x		x	x							x	x			x	x			x	x				x
Ветoшкин М.			x	x	x		x	x	x		x	x			x	x			x	x			x	x	x		x	x		
Ветoшкин П.			x	x	x			x	x		x	x			x	x			x	x					x	x				x
Вoлoхoв			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x		
Гaлямoв	x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x			x	x				x
Гoлyбeв	x	x			x	x			x	x			x	x							x	x	x	x	x	x	x			x
Гopбaчeв	x	x		x	x		x	x			x	x			x	x				x			x	x	x		x	x		
Гopбyнoв			x	x			x	x			x	x	x		x	x				x	x			x	x			x	x	

Рисунок 4.3 – Интерфейс программы-макрса.  
Ввод данных о сменном бригадире

Под таблицей графика работ в строке «Всего» автоматически подсчитывается ежедневное суммарное количество рабочих и строится график движения рабочих (рисунок 4.2).

Чтобы посмотреть информацию о любом рабочем достаточно дважды нажать мышкой на его фамилию. После этого программа открывает в отдельном окне картотеку сведений обо всех рабочих в бригаде (рисунок 4.4). Сведения о каждом рабочем включают в себя информацию о профессии рабочего, присвоенном разряде, об образовании, опыте работы в строительстве, тарифе, устанавливаемом в соответствии с тарифными ставками для каждого разряда рабочего, приведенными в сметных нормах и расценках СНиР-91. В графе «сведения о доп. профессиях» указывают профессии, которыми дополнительно овладел рабочий, а также присвоенный по дополнительной профессии разряд (при наличии). На основании статистических сведений и методики расчета интегральных коэффициентов квалификации, описанной в Главе 3 п. 3.1, 3.2, программа автоматически рассчитывает интегральный коэффициент квалификации для каждого рабочего, значение которого отражается в графе «ИКК». В случае изменения личных сведений о рабочем, необходимо внести такие изменения в соответствующую графу. Значение интегрального коэффициента квалификации рабочего будет пересчитано автоматически.

Средний интегральный коэффициент квалификации смены рассчитывается программой автоматически, если условным значком «X» заполнены сведения о людях, работающих в данную смену. В представленном на рисунке 4.2 интерфейсе программы сведения о ежедневном среднем интегральном показателе квалификации смены не отображены, поскольку являются дополнительной информацией, используемой в автоматических расчетах программы. Данные сведения используются для подбора рабочих с нужной квалификацией в следующем отчетном периоде. При необходимости сведения о ежедневном среднем интегральном показателе квалификации могут быть отображены.

№	ФИО	ИКК	Профессия	Разряд	Образование	Возраст	Опыт работы	Тариф	Сведения о доп. профессиях
1	Агадашев	1,556625	Арматурщик-бетонщик	3	ср. спец (экономич.)	29	7	1,1860	
2	Ананьев	1,491875	Арматурщик-бетонщик	2	ср. спец	28	9	1,0850	
3	Балашов	1,779	Плотник-слесарь	3	среднее	42	17	1,1860	
4	Берин	1,4240625	Арматурщик-бетонщик	2	ср. спец (технич.)	42	8	1,0850	
5	Боков	1,5596875	Арматурщик-бетонщик	2	ср. спец	37	15	1,0850	
6	Буданов	0,8815625	Монтажник	2	ср. спец	32	5	1,0850	
7	Букатов	2,001375	Монтажник	3	ср. спец	35	13	1,1860	
8	Васильев	1,63075	Арматурщик-бетонщик	3	ср. спец (технич.)	36	10	1,1860	
9	Верхорубов	1,4240625	Арматурщик-бетонщик	2	ср. спец (технич.)	27	5	1,0850	
10	Ветошкин М.	0,6103125	Подсобный	2	ср. спец (технич.)	23	1	1,0850	
11	Ветошкин П.	3,66225	Монтажник	5	ср. спец	55	37	1,5420	каменщик 5р., монтажник 3р.
12	Волохов	1,4825	Арматурщик-бетонщик	3	среднее	42	18	1,1860	
13	Галямов	1,92725	Арматурщик-бетонщик	3	ср. спец	32	10	1,1860	
14	Голубев	2,594375	Сварщик	3	ср. спец (технич.)	29	13	1,1860	слесарь 3р.
15	Горбачев	1,92725	Плотник-слесарь	3	ср. спец	35	9	1,1860	
16	Горбунов	1,491875	Монтажник	2	среднее	41	10	1,0850	стропальщик
17	Гусев	1,841125	Сварщик	4	ср. спец (технич.)	36	9	1,3390	
18	Емельянов	1,63075	Стропальщик	3	неполное среднее (9кл.)	30	10	1,1860	монтажник 3р.
19	Ерофеев	0,6103125	Подсобный	2	ср. спец	38	10	1,0850	
20	Ефремов	1,763125	Арматурщик-бетонщик	2	ср. спец (технич.)	23	2	1,0850	
21	Иванов	1,853125	Арматурщик-бетонщик	3	ср. спец	40	2	1,1860	разряд получал в Энергосервисе (варка котлов)
22	Игнатов	2,023875	Сварщик	5	ср. спец (технич.)	27	5	1,5420	монтажник
23	Казьмин	1,704875	Сварщик	3	ср. спец (технич.)	36	15	1,1860	
24	Киселев	2,576875	Арматурщик-бетонщик	2	ср. спец (технич.)	41	10	1,0850	арматурщик с 2007 года, плотник-стропальщик 3р.
25	Краснов	2,2595625	Монтажник	4	ср. спец	44	15	1,3390	
26	Крысанов	1,763125	Арматурщик-бетонщик	2	ср. спец	37	13	1,0850	
27	Куликов	2,001375	Монтажник	3	среднее	30	7	1,1860	
28	Курочкин	1,03775	Арматурщик-бетонщик	3	ср. спец (технич.)	32	10	1,1860	плотник
29	Лощинский	1,1528125	Плотник-слесарь	2	высшее (экономич.)	30	3	1,0850	
30	Макаревич	2,22375	Арматурщик-бетонщик	3	ср. спец	31	10	1,1860	
31	Марков Д.	2,149625	Арматурщик-бетонщик	3	ср. спец (технич.)	37	12	1,1860	плотник, монтажник
32	Марков Н.	0,6103125	Подсобный	2	ср. спец (технич.)	23	5	1,0850	
33	Марков Р.	1,63075	Стропальщик	3	неполное среднее (9кл.)	22	3	1,1860	
34	Махмурьев	1,491875	Арматурщик-бетонщик	2	ср. спец	35	12	1,0850	
35	Медведев Ал.	1,7574375	Плотник-слесарь	4	высшее (экономич.)	32	8	1,3390	
36	Медведев Ан.	1,4825	Плотник-слесарь	3	среднее	38	17	1,1860	
37	Мизаветов	3,66225	Монтажник	5	ср. спец	52	32	1,5420	плотник 4р., арматурщик 4р.
38	Михеев	2,594375	Монтажник	3	ср. спец (технич.)	38	15	1,1860	
39	Мугиев	2,001375	Монтажник	3	ср. спец	38	15	1,1860	
40	Немчинов	0,963625	Монтажник	3	ср. спец	30	9	1,1860	

Рисунок 4.4 – Интерфейс программы-макроста.  
Сведения о рабочих

Кнопка «План на неделю», расположенная в левом верхнем углу окна программы графика работ (рисунок 4.3), может быть использована, только если есть статистические сведения о ежедневном количестве рабочих и, соответственно, о ежедневном среднем интегральном коэффициенте квалификации за предыдущий период. Выполнение задачи, описываемой кнопкой «План на неделю», реализовывается на основании функции выработки по формуле (3.5). Коэффициенты эластичности для формулы (3.5) вычисляются по результатам обработки статистических данных за предыдущий период. Перед нажатием кнопки «План на неделю» необходимо заполнить ячейки строки «План/м<sup>3</sup>», т. е. планируемые к выполнению объемы работ. При нажатии кнопки «План на неделю», программа методом перебора и в соответствии с формулой 3.5 начинает подбирать такой состав рабочих для смены, чтобы их количество и средний интегральный коэффициент квалификации смены были оптимальными, а расчетное значение объемов работ, получаемое по формуле (3.5) и отражаемое в строке «Расчет/м<sup>3</sup>», было максимально приближенным к планируемому объему работ, записанному в строке «План/м<sup>3</sup>». Перебор возможных вариантов осуществляется с учетом постоянного сменного графика для каждого рабочего и профессий рабочих. По умолчанию программа осуществляет подбор рабочих на неделю вперед, однако, программа может осуществлять подбор рабочих для любого установленного периода – от одного дня, до месяца в целом. Каждый следующий подбор осуществляется с учетом фактических выходов рабочих за предыдущий период, в т. ч. если фактические графики выходов рабочих не соответствовали ранее разработанному программой плану. Смена, в которую необходимо выйти выбранному программой рабочему, отмечается буквой «П» – планируемый выход.

Рассмотрим отображение в программе сведений о внешних факторах, воздействующих на строительную систему. В программе представлены следующие факторы:

«Работа маш./мех.». В данной строке заполняются сведения о работе машин и механизмов, о плановой настройке оборудования, о поломке, о нерабочем состоянии машин и механизмов из-за погодных условий.

- «Отключение электроэнергии». В данной строке отмечаются дни, в которые на строительной площадке отсутствовала электроэнергия.
- «Предписания». В данной строке отражаются сведения о Предписаниях, выданных Службой технического надзора и приемки работ. Темно-красным цветом отражаются дни получения Предписания, светло-розовым цветом – срок, в течение которого необходимо устранить замечания, указанные в Предписании. Нажав на ячейку дня выдачи Предписания можно получить сведения о прорабе, сдававшем в этот день выполненные работы, краткое содержание самого Предписания и срок устранения замечаний.
- «Погодные условия». Отмечаются даты неблагоприятных погодных условий, из-за которых невозможно выполнение каких-либо строительномонтажных работ.
- «Поставки бетона». Указываются сведения о задержках в поставках бетона, повлекшие за собой простои в работе, сбое в запланированной последовательности выполнения работ.

#### **4.2. Календарное планирование строительства на основе разработанной методики прогнозирования и управления производственным процессом**

Проанализируем данные об изменении средних объемов работ за октябрь (рисунок 4.5). По результатам внесения всех сведений о фактически выполненных объемах работ за период программой автоматически строится функция оптимизированных объемов работ, от которой откладываются границы допустимых отклонений «Граница  $\min/\text{м}^3$ », «Граница  $\max/\text{м}^3$ ». В рассматриваемом примере нижняя граница была задана как 10% от функции оптимизированных объемов работ, так как сумма ежедневных объемов работ по нижней границе составляет 1170 куб. м (рисунок 4.5), что является граничным значение с минимальным объемом работ, выполняемым за месяц, который

должен быть равен 1200 куб. м. Таким образом, нижнюю границу увеличивать недопустимо. Верхняя граница составляет 15% от функции оптимизированных объемов работ. При этом на рисунке 4.5 хорошо видны критические отклонения функции ежедневных средних объемов работ. Выделим зоны критических отклонений функции изменения средних объемов работ и сопоставим их с внешними факторами, влияющими на строительный процесс в течение октября (рисунок 4.6). Зоны критических отклонений приходятся на следующие временные периоды: 3-4, 13-17, 19-20, 26-27, 28-29, 30 октября. Периодичность возникновения внешних факторов соответствует ранее выявленной с помощью Фурье и вейвлет анализов периодичности с учетом допустимых отклонений (таблица 3.11). Проанализируем влияние внешних факторов на строительный процесс. Плановая настройка башенного крана 9 октября (на рисунок 4.6 «пн/к») и отключение электроэнергии 6 октября привели к незначительному снижению средних объемов работ, к большому снижению объемов работ привело отключение электроэнергии 30 октября и поломка крана в этот же день (на рисунок 4.6 «X»). Максимальные снижения выполняемых объемов работ прослеживаются в периоды устранения замечаний и брака, выдвинутых Службой технического надзора и приемки работ. Поскольку устранить замечания необходимо в установленный срок, основная работа в данный период выполняется в меньшем объеме. Пиковые зоны увеличения выполненных объемов работ, как правило, наступают после зон резкого падения объемов работ, что приводит к постоянному колебанию объемов работ, неравномерности выполнения работы, спешке, и, опять же, к браку.

Проведем исключение (минимизацию) критических отклонений из функции изменения средних объемов работ по алгоритму, описанному в Главе 3 п. 3.3 в программе Matlab. Дискретное вейвлет-преобразование функции, исходная и откорректированная с помощью пороговой обработки функция представлены на рисунке 4.7. Стоит отметить, что пороговая обработка не только уменьшила зоны критических отклонений, но и сгладила и убрала большинство пиковых значений по всей функций. Это еще раз подтверждает выводы, сделанные по результату



анализа вейвлет-спектра  $W(a,b)$  для объекта А, что внешние и внутренние факторы не воздействуют локально, в какой-то определенный день, они влияют на общий ход строительства, а последствия их воздействия могут существенно повлиять и снизить показатели будущих периодов, поэтому важно заранее их прогнозировать и предотвращать. На рисунке 4.8 представлен график изменения средних объемов работ после исключения (минимизации) критических отклонений. Значения средних объемов работ реконструированной функции представлены в строке «Средний объем (без откл.)/м<sup>3</sup>». График выработки стал более плавным, без резких колебаний, график движения рабочих также изменился. Рассчитав соотношения средних объемов работ с учетом критических отклонений к средним объемам работ без учета критических отклонений, получаем значения корректирующих коэффициентов (строка «Корректирующие коэффициенты» на рисунке 4.8) для всего периода. Значения корректирующих коэффициентов изменяются в диапазоне от 0,88 до 1,13. Проведен анализ применимости максимального корректирующего коэффициента 1,13 для всех зон максимальных и минимальных отклонений. В результате анализа все значения средних объемов работ остались в допустимых границах. Таким образом, зная ориентировочную периодичность возникновения внешних и внутренних факторов, влияющих на строительный процесс, для корректировки календарного плана будущего периода, с помощью разработанной программы-макроса можно заложить значения повышающего или понижающего (в зависимости от характера отклонения) корректирующего коэффициента для периодов возможного возникновения внешних и внутренних факторов.

Построим в программе график изменения средних объемов работ для ноября, с учетом статистических сведений за октябрь, автоматически подсчитанных программой коэффициентов эластичности и функции выработки, с помощью которой проводится автоматический подбор качественного и количественного состава рабочих в смену, а также с учетом заложенных в программе понижающих и повышающих корректирующих коэффициентов, и сравним его с фактическим графиком объемов работ за ноябрь (рисунок 4.9, 4.10).

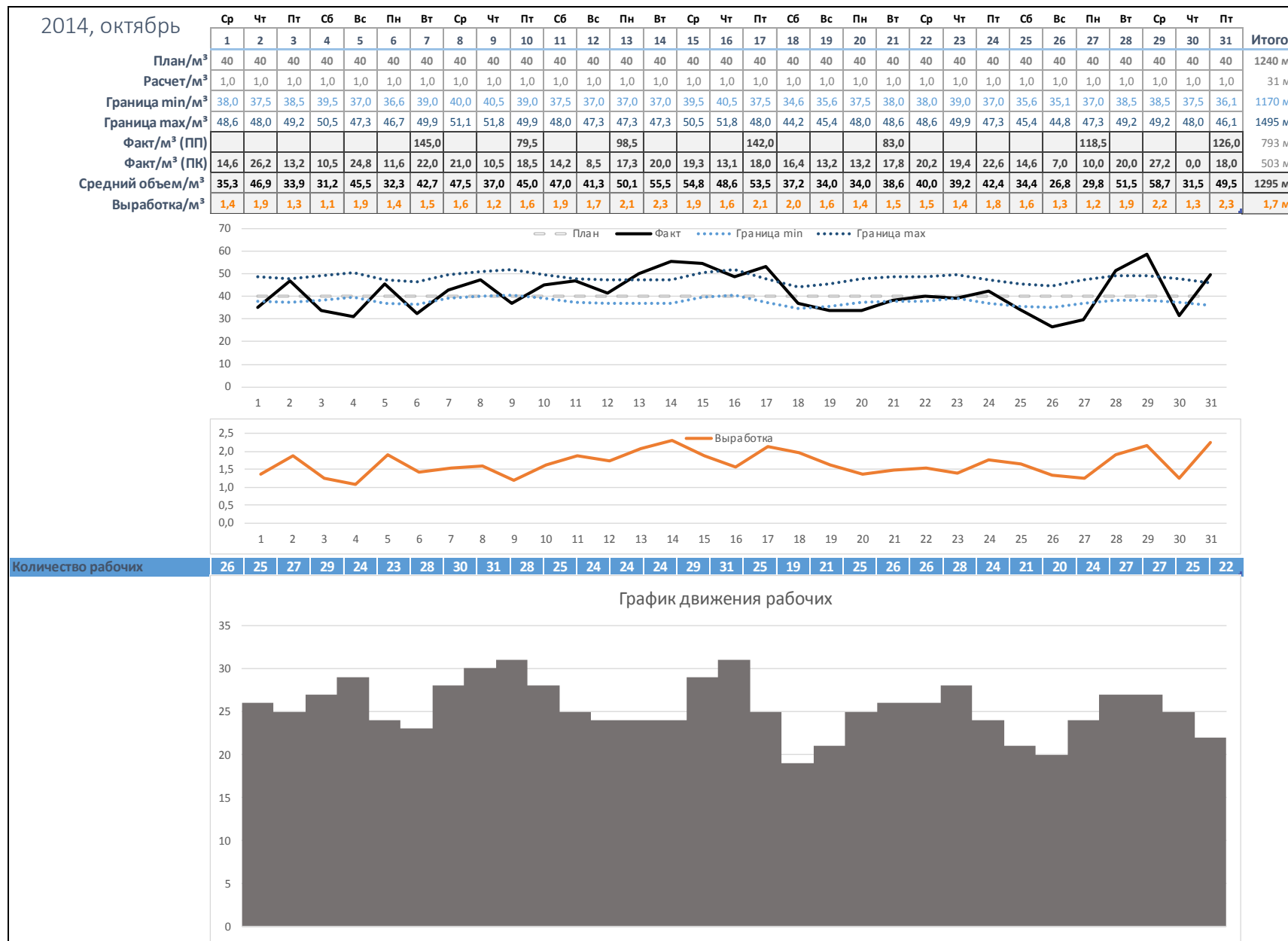


Рисунок 4.5 – Интерфейс программы-макроста.  
Сведения об объемах работ

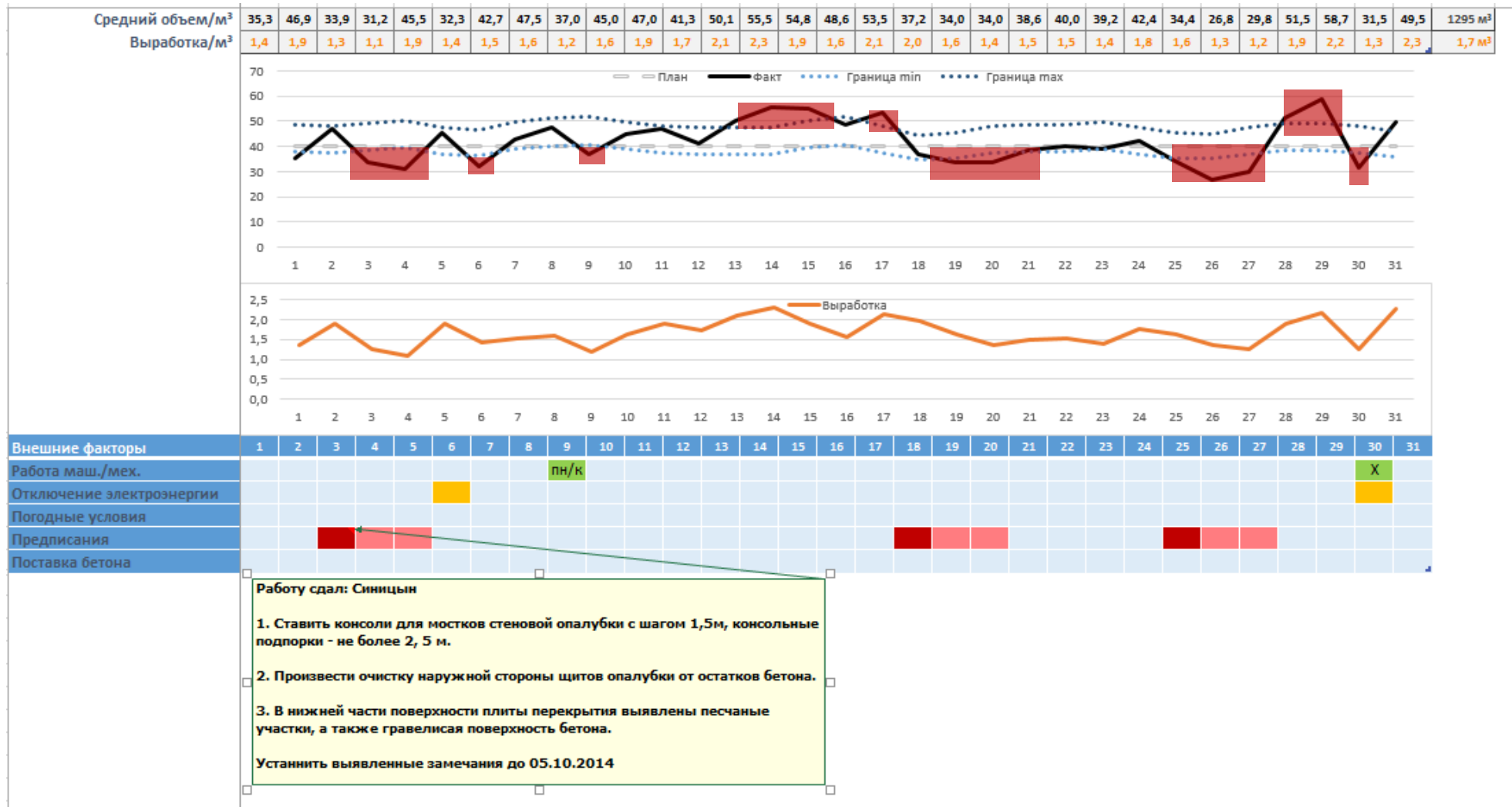


Рисунок 4.6 – Интерфейс программы-макроста. Сведения об объемах работ и внешних факторах

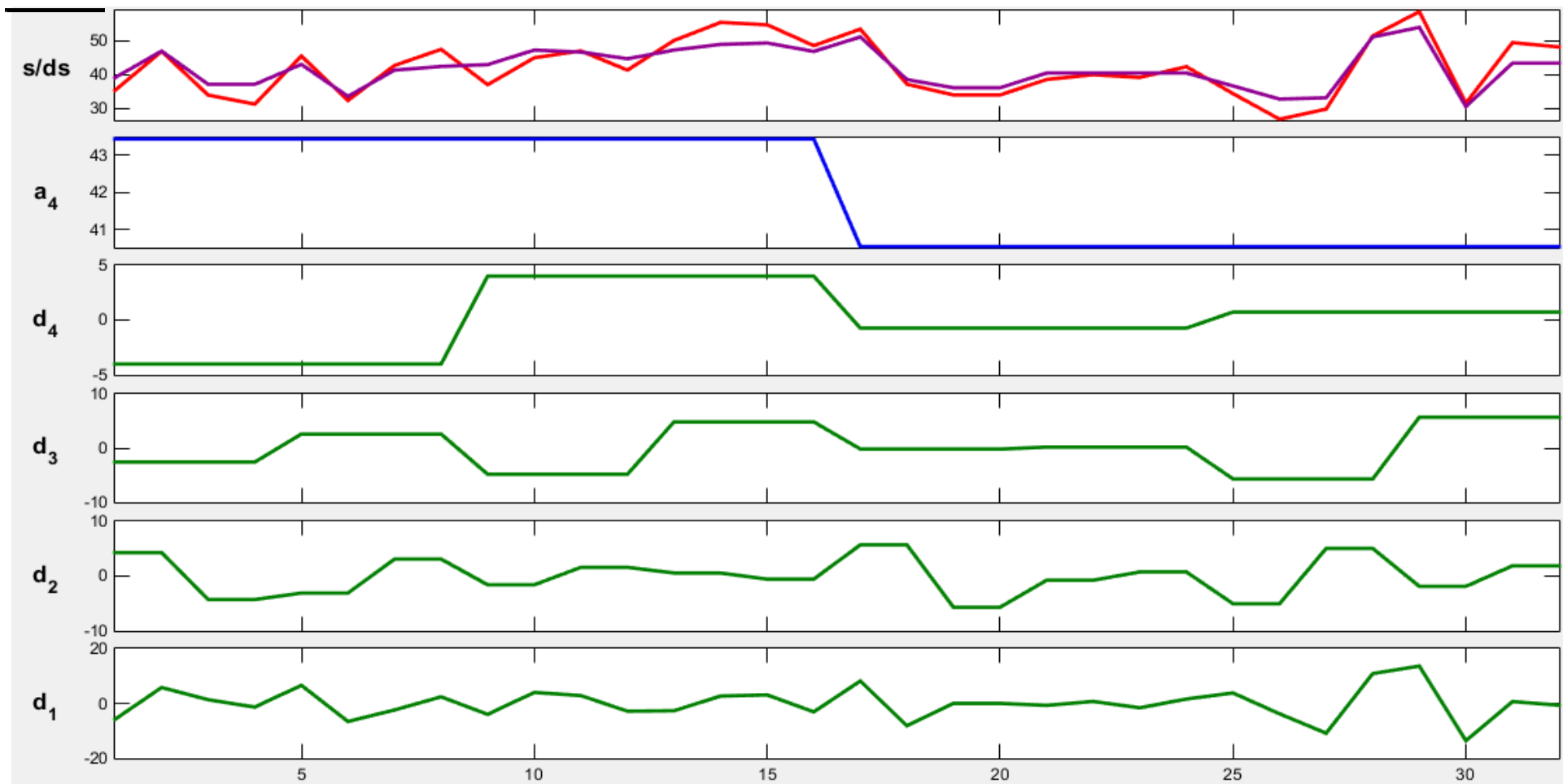


Рисунок 4.7 – Дискретное вейвлет-преобразование функции изменения средних объемов работ на объекте Б за октябрь

— исходная функция  
— откорректированная функция

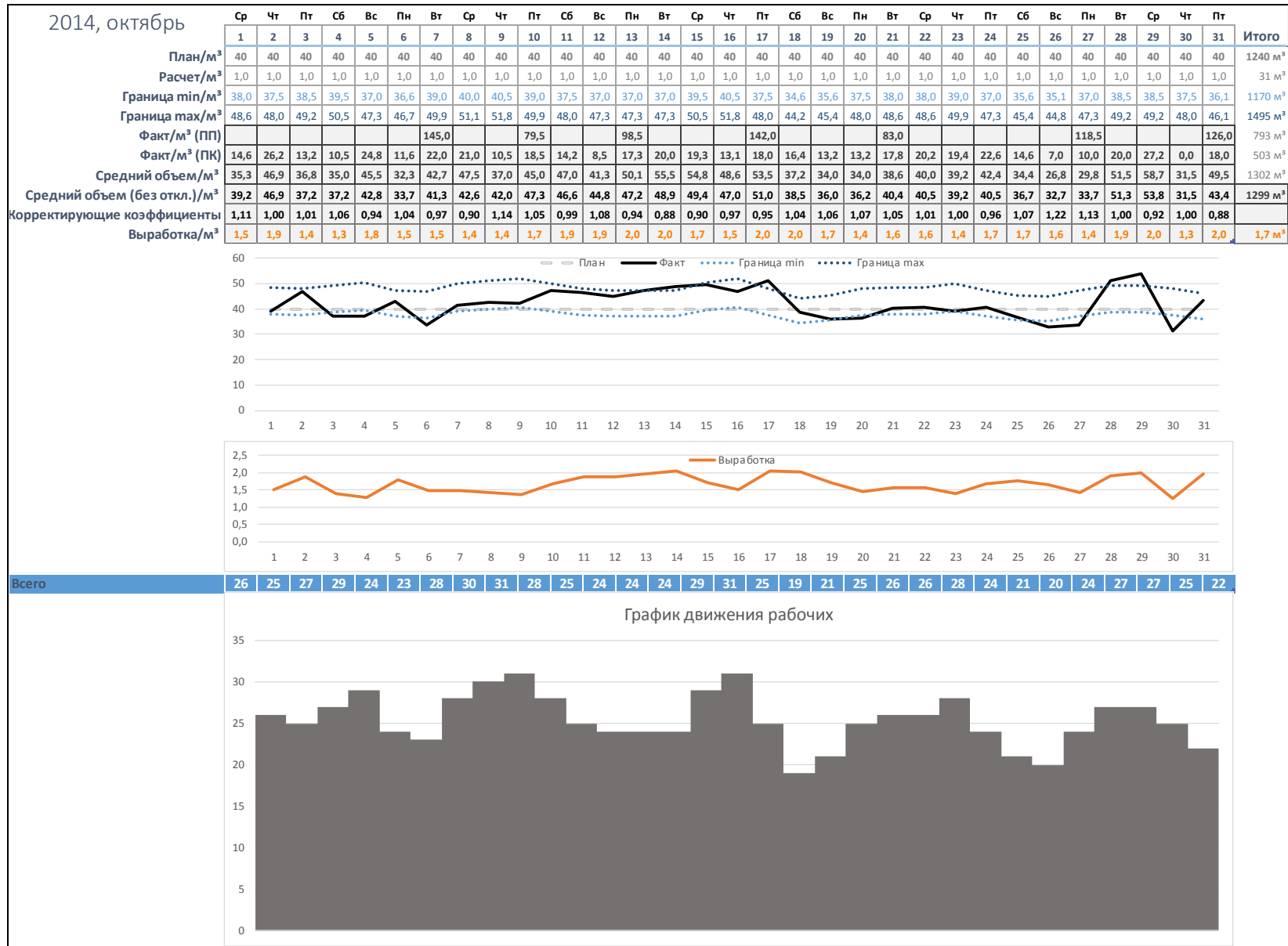


Рисунок 4.8 – Интерфейс программы-макрса.  
Сведения об объемах работ после пороговой обработки

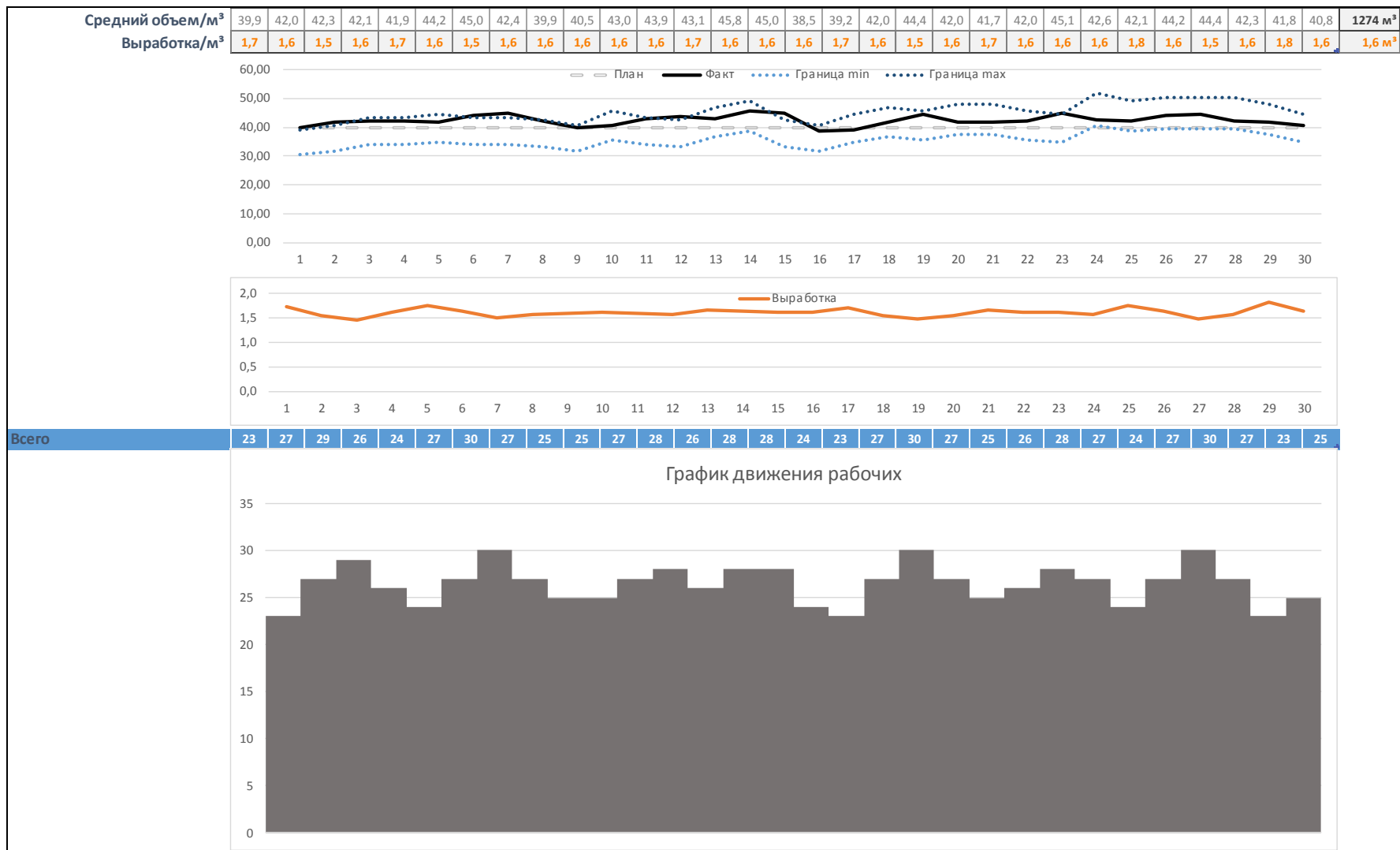


Рисунок 4.9 – Интерфейс программы-макроста.  
График изменения средних объемов работ и график движения рабочих при использовании методики

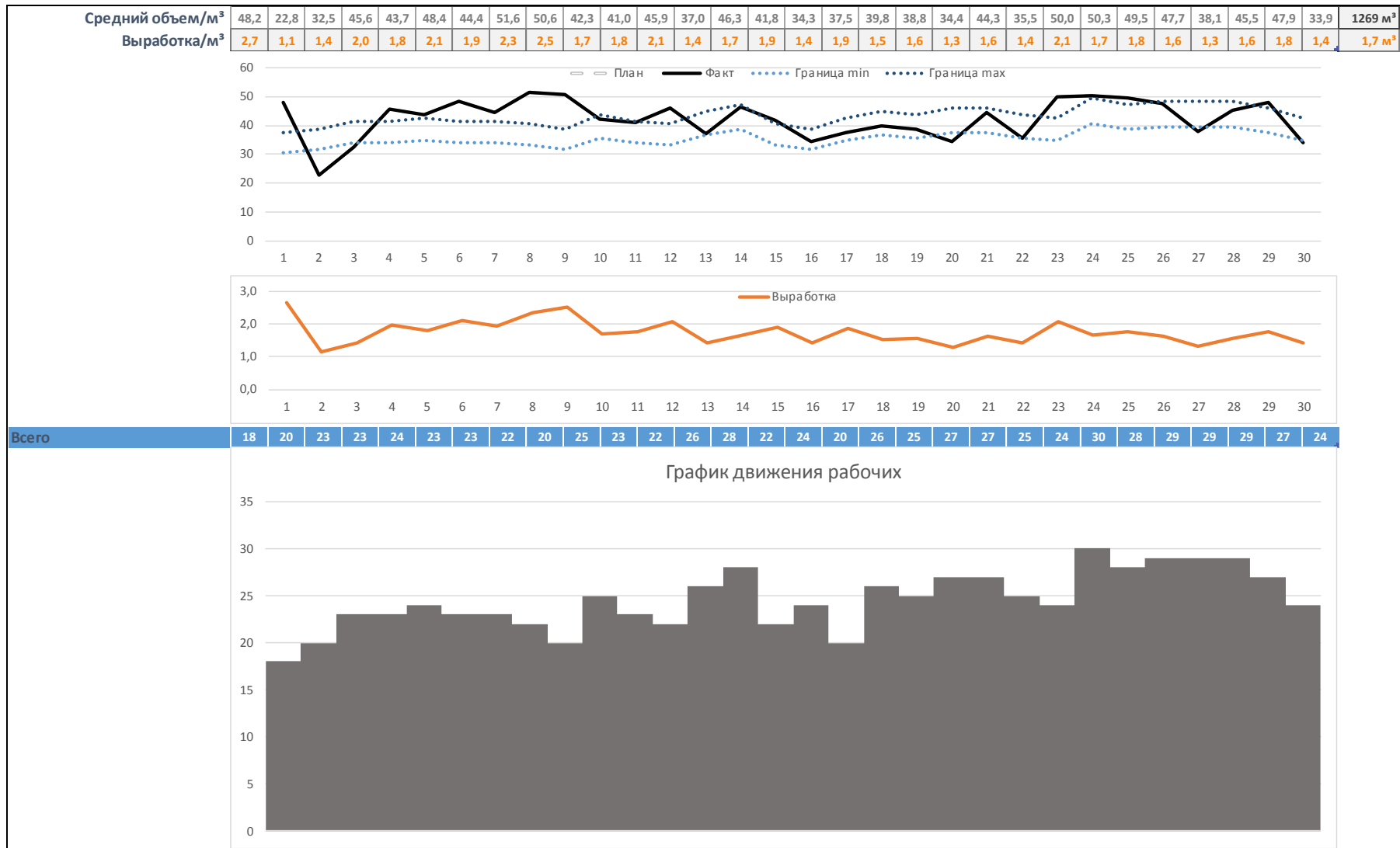


Рисунок 4.10 – Интерфейс программы-макроса.  
Фактический график изменения средних объемов работ и  
график движения рабочих

Анализируя график фактических объемов работ за ноябрь и график объемов работ, полученный при применении предложенной методики, можно сделать вывод, что колебания и критические отклонения в значениях объемов работ при применении предложенной методики практически отсутствуют, чего нельзя сказать о графике фактических объемов работ. Также отсутствуют резкие скачки в значениях ежедневной выработки, т. е. каждый день подобранными с помощью программы рабочими работа выполняется с одинаковой интенсивностью. При этом стоит отметить, что итоговый объем выполненных работ за месяц увеличился по сравнению с фактическим и составил 1274 куб. м.

### **Выводы по четвертой главе**

1. Разработана практическая реализация методики повышения ОТН строительной системы на основании автоматического подбора качественного и количественного состава рабочих в определенную смену в зависимости от заданных объемов работ.

2. Подтверждены выводы, сделанные по результату анализа вейвлет-спектра  $W(a,b)$  о том, что внешние и внутренние факторы не воздействуют локально, а влияют на общий ход строительства. Последствия их воздействия могут существенно повлиять и снизить показатели будущих периодов, необходимо заранее их прогнозировать и предотвращать.

3. Определены значения корректирующих коэффициентов на прогнозный период при сравнении значений средних объемов работ с учетом и без учета критических отклонений. Значения корректирующих коэффициентов изменяются в диапазоне от 0,88 до 1,13 в зависимости от внешних факторов, влияющих на ход строительства.

4. Выявлено, что при применении предложенной методики колебания и критические отклонения в значениях объемов работ практически отсутствуют, также отсутствуют резкие скачки в значениях ежедневной выработки, т. е. рабочие работают с постоянной интенсивностью. При этом производительность труда увеличилась.



## Заключение

По итогам работы над диссертацией получены следующие результаты и выводы:

1. Проведен анализ современных методов повышения организационно-технологической надежности строительства с выявлением факторов, влияющих на нее.

2. Собраны статистические сведения о более, чем 100 рабочих из двух бригад, работающих на двух объектах монолитного домостроения, включающие в себя информацию о возрасте рабочих, их образовании, профессиональном стаже, квалификационном разряде. Получены сведения о ежедневных объемах выполненных работ на двух объектах за 4,5 месяца, а также о внешних и внутренних факторах, воздействующих на ход строительства, сформированы исходные массивы данных для построения функций изменения средних объемов работ.

3. Определены периодичности воздействия внешних и внутренних факторов на функции изменения средних объемов работ для двух объектов, а также степень влияния различных факторов на ход строительства с помощью преобразования Фурье, непрерывного и дискретного вейвлет-преобразований.

4. Разработан алгоритм исключения критических отклонений функции изменения средних объемов работ, возникающих в результате воздействия различных внешних и внутренних факторов.

5. Разработаны интегральные статистические показатели квалификации, отражающие индивидуальные оценки каждого рабочего – от теоретических знаний до практических навыков в строительной области, разработана методика расчета среднего интегрального показателя квалификации смены, определена эффективность применения интегральных показателей квалификации.

6. Проведено исследование математических зависимостей между параметрами строительного процесса в монолитном домостроении: средним интегральным показателем квалификации смены, количеством рабочих в смену и средним

ежедневным объемом выполненных работ. Введена функция выработки и функция оптимизированного объема работ, значения которой следует использовать в качестве норматива для календарного планирования.

7. Разработаны методика и компьютерный инструментарий (программа-макрос на базе программы Excel) повышения организационно-технологической надежности монолитного домостроения, позволяющие совершенствовать календарный план и график движения рабочих, с учетом разработанных математических моделей, внутренних и внешних факторов, воздействующих на ход строительства.

8. Выполнено календарное планирование строительства на основе разработанной методики и программы-макроса при математическом моделировании объемов работ.

### Список литературы

1. Дикман Л. Г. Организация строительного производства / Л. Г. Дикман. – М.: АСВ, 2003. – 512 с.
2. Шалягин Г. Л. Организационно-технологическая надежность строительства: метод. пособие / Г. Л. Шалягин, И. В. Потапова. – Хабаровск: ДВГУПС, 2006. – 52 с.
3. Шкляров А. Ф. Надежность систем управления в строительстве / А. Ф. Шкляров. – Л.: Стройиздат, 1974. – 96 с.
4. Гинзбург А. В. Влияние мероприятий по повышению организационно-технологической надежности на функционирование строительной организации и планирование строительства / А. В. Гинзбург, П. Б. Жавнеров // Научно-технический вестник Поволжья. – 2014. – №3. – С. 94-96.
5. Гусаков А. А. Организационно-технологическая надёжность строительства / А. А. Гусаков, С. А. Веремеенко, А. В. Гинзбург и др. – М.: Внешторгиздат, 1994. – 472 с.
6. Мищенко В. Я. Основные подходы к формированию организационно-технологической системы реконструкции зданий и сооружений / В. Я. Мищенко, Н. А. Понявина // Проблемы эффективного функционирования и развития региональных инвестиционно-отраслевых комплексов: материалы междунар. науч.-практ. конф. – Прага-Пенза, 2009. – С. 291-297.
7. Цай Т. Н., Грабовый П. Г. Организация строительного производства: Учебник для вузов / Т. Н. Цай, П. Г. Грабовый, В. А. Большаков и др. – М.: Изд-во АСВ, 1999. – 432 стр.
8. Афанасьев В. А.. Организация и управление в строительстве / В. А. Афанасьев, Н. В. Варламов, Г. Д. Дроздов и др. – М.: Ассоциация строительных вузов, 1998. – 316 с.

9. Гинзбург А. В. Организационно-техническая надежность строительства / А. В. Гинзбург. – М.: Фонд «Новое тысячелетие», 2002. – 782 с.
10. Организация, планирование и управление строительным производством / Под общ. ред. П.Г. Грабового. – Липецк: Изд-во «Информ», 2006. – 304 с.
11. Болотин С. А. Организация строительного производства / С. А. Болотин, А. Н. Вихров. – М.: Издательский центр «Академия», 2007. – 208 с.
12. Жавнеров П. Б. Повышение организационно-технологической надежности строительства за счет структурных мероприятий / П. Б. Жавнеров, А. В. Гинзбург // Вестник МГСУ. – 2013. – №3. – С. 196-200.
13. Седых Ю. И. Организационно-технологическая надежность жилищно-гражданского строительства / Ю. И. Седых, В. М. Лазебник. – М.: Стройиздат, 1989. – 396 с.
14. Костюченко В. В. Организационно-технологические строительные системы / В. В. Костюченко. – Ростов н/Д: Феникс, 1994. – 238 с.
15. Семченкова А. В. К вопросу о необходимости оценки надежности строительного производства / А. В. Семченкова // Вестник УГТУ-УПИ. – 2008. – №5. – С. 10-17.
16. Информационный портал «Саморегулирование»: [Электронный ресурс]. М., 2010-2015. URL: <http://sroportal.ru>.
17. Ассоциация «Общероссийская негосударственная некоммерческая организация – общероссийское отраслевое объединение работодателей «Национальное объединение саморегулируемых организаций, основанных на членстве лиц, осуществляющих строительство»: [Электронный ресурс]. М., 2009-2015. URL: <http://nostroy.ru>.
18. Поршнева Л. Финский опыт: кадры решают все: // Вестник строительного комплекса. 2011. №77. URL: <http://www.vestnik.info/archive/42/article891.html>.
19. DSR International Consulting Group: [Электронный ресурс]. 2012-2015. URL: <http://dsrgroup.info/>
20. Лисичкин В.А. Опыт управления строительством в капиталистических странах / В.А. Лисичкин, М.И. Ковальский. – М.: Стройиздат, 1987. – 296 с.

- 21.Болотин С. А.. Конвергенция организационно-технологического и архитектурно-строительного проектирования, ориентированного на энергоресурсосбережение при строительстве и эксплуатации зданий / С. А. Болотин, А. Х. Дадар. – СПб: СПбГАСУ, 2011. – 200 с.
- 22.Романова К.Г. Нормирование труда и сметы / К.Г. Романова, Е. П. Жарковская, Г. Л. Исаева и др.; под общ. ред. К. Г. Романовой. – М.: Стройиздат, 1989. – 304 с.
- 23.Лапидус А. А. Исследование интегрального показателя качества, учитывающего влияние организационно-технологических решений при формировании строительной площадки / А. А. Лапидус, Л. П. Демидов // Технология и организация строительного производства. 2013. – №2(3). – С. 44-46.
- 24.Балберова Н. В. Современные методы повышения квалификации специалистов строительных организаций. // Межвузовский сборник научных трудов «Технология и организация строительного производства». СПб.: Изд-во СПбГАСУ, 2005. С. 149-154.
- 25.Васильев В.М., Панибратов Ю.П., Резник С.Д., Хитров В.А. Управление в строительстве. Изд-е 2-е перераб. И доп. М.: АВС, 2001.352 с.
- 26.Балберова Н.В. Актуальные вопросы повышения квалификации // Вестник «Зодчий. 21 век». 2004. №3. С. 42-43.
- 27.Баринаова, Л.С. Подготовка, переподготовка и повышение квалификации в сфере строительства и жилищно-коммунального комплекса // Строительные материалы, оборудование, технологии XXI века. 2004. № 3. С. 10-12.
- 28.Бузырев В.В., Юдепко М. Н. Управление качеством в строительстве. Учебное пособие для ВУЗов. СПб.: ГИОРД, 2009. 224 с.
- 29.Косенкова И. В. Сущность и показатели сформированности организационно-технологических умений будущих строителей // Вестник тамбовского университета. 2008. № 1 (57). С. 275-278.

30. Курничный В. Ю. Практико-ориентированная подготовка кадров высшей квалификации в сфере строительства // Вестник сибирской государственной автомобильно-дорожной академии. 2012. № 5 (27). С. 168-172.
31. Карибова И. Ш. Повышение квалификации строителей как один из главных рычагов роста производительности труда и качества строительной продукции // Региональные проблемы преобразования экономики. 2011. – № 2. – С. 293-299.
32. Серых А. Р. Повышение квалификации специалистов строительной отрасли в Канаде // БСТ: Бюллетень строительной техники. 2011. – № 4. – С. 62-63.
33. Serdyuk V. R., Beletskaya N. G. Training of highly skilled workforce for the construction industry. Bulletin of the Vinnitsa Polytechnic Institute. 2013. No 4(109). Pp. 133-139.
34. Опекунов В. С., Ивчик Т. А., Шрейбер А. К., Повышение квалификации специалистов – путь к модернизации отрасли // Экономика строительства. 2011. – № 3. – С. 17-21.
35. Путин. Итоги: [Электронный ресурс]. М., 2010-2015. URL: <http://www.putin-itogi.ru>.
36. Информационно-аналитический журнал «Политическое образование»: [Электронный ресурс]. М., 1994-2015. URL: <http://www.lawinrussia.ru>.
37. Единый квалификационный справочник должностей руководителей, специалистов и служащих [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/180422>
38. Единый тарифно-квалификационный справочник работ и профессий рабочих [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/108186>
39. Общероссийский классификатор занятий ОК 010-93 (ОКЗ) [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/179057>
40. Общероссийский классификатор видов экономической деятельности ОК 029-2001 (ОКВЭД) [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/185134>

- 41.Общероссийский классификатор ОК 016-94 профессий рабочих, должностей служащих и тарифных разрядов (ОКПДТР) [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/1548770>
- 42.Денис З. О развитии национальных квалификационных стандартов в Российской Федерации // Электронный журнал «Труд за рубежом». 2011. №2. Режим доступа к журн. URL: <http://trudzr.ru/2011/02/zibarev-db-ken-zamestitel-nachal-nika-upravleniya-po-razvitiyu-trudovogo-potenciala-nii-tss.html> (дата обращения: 05.05.2014)
- 43.Величко О. Экспертное мнение: Профессиональные стандарты на замену квалифицированным справочникам // Электронный журнал «Система успеха». 2012. №11. Режим доступа к журн. URL: <http://www.irbis-group.ru/content/view/7647/727/> (дата обращения: 13.04.2014)
- 44.Панкина Г. В., Бабыкин С. В., Панкин Д. В. Анализ профессиональных стандартов // Компетентность. 2010. – N 9 – С. 14.
- 45.Прянишникова О. Д., Лейбович А. Н. Профессиональные стандарты: краткий обзор зарубежного опыта // Промышленник России. 2008. – N 3. – С. 38.
- 46.Круглый стол: «Профессиональный стандарт как основа повышения качества строительства» // Технология и организация строительного производства. 2012. №1. С.9-13.
- 47.Трудовой кодекс (ТК РФ): [Электронный ресурс]. URL: <http://base.garant.ru/12125268>.
- 48.Указ Президента Российской Федерации от 16 апреля 2014 года № 249 «О формировании Национального совета при Президенте Российской Федерации по профессиональным квалификациям»: [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499089517>.
- 49.Об утверждении комплексного плана мероприятий по разработке профессиональных стандартов, их независимой профессионально-общественной экспертизе и применению на период 2014-2016 годы

- (Распоряжение Правительства Российской Федерации от 31 марта 2014 г. № 487-р): [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499086861>.
50. О правилах разработки, утверждения и применения профессиональных стандартов (в ред. Постановления Правительства Российской Федерации от 23.09.2014 № 970): [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/902393797>.
51. Об утверждении Макета профессионального стандарта (приказ Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 12 апреля 2013 N 147н, приказ Минтруда России от 29 сентября 2014 г. №665н): [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499018306>.
52. Об утверждении уровней квалификации в целях разработки проектов профессиональных стандартов (приказ Минтруда России от 12 апреля 2013 года № 148н): [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/499018307>.
53. О реестре профессиональных стандартов (перечне видов профессиональной деятельности) (приказ Минтруда России от 29 сентября 2014 года № 667н): [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420226153>.
54. Об утверждении методических рекомендаций по организации профессионально-общественного обсуждения и экспертизы проектов профессиональных стандартов (приказ Минтруда России от 30 сентября 2014 года № 671н): [Электронный ресурс]. URL: <http://docs.cntd.ru/document/420226152>.
55. Henry E. Quality management standardization in the French construction industry singularities and internationalization prospects // Construction management & Economics. 2000. Vol. 18. No.6. Pp. 667.
56. Chatigny C., Montreuil S., Apprenticeship in a work setting: the contribution and limits of operational resources constructed by workers // Safety Science. 2003. Vol. 41. No.4. Pp. 377-391.
57. Reza E., Richard E., Knowledge management in construction companies in the UK // AI & Society. 2009. Vol. 24. No.2. Pp. 197-203.



58. Mohamed S.A-W., Andrew R.J.D., Stephen G.I., Patrick B., Guy H., Trends of skills and productivity in the UK construction industry // Engineering, Construction and Architectural Management. 2008. Vol. 15. No.2. Pp. 372-382.
59. Lubka Y., Brian H. K., Human resources issues in the construction industry // Management research news. 2008. Vol. 24. No.3-4. Pp. 101-105.
60. Geraldine J.K., An evaluation of construction skills in Tanzania // Engineering, Construction and Architectural Management. 2011. Vol. 18. No.2. Pp. 127-139.
61. Mavrikios D., Papakostas N., Mourtzis G., Chryssolouris, On industrial learning and training for the factories of the future: a conceptual, cognitive and technology framework // Journal of Intelligent Manufacturing. 2013. Vol. 24. No.3. Pp. 473-485.
62. Fitzpatrick E. L., Askin R. G., Forming effective worker team with multi-functional skill requirements // Computers & Industrial Engineering. 2005. Vol. 48. No.3. Pp. 593-608.
63. Wongwai N., Malaikrisanachalee S., Augmented heuristic algorithm for multi-skilled resource scheduling // Automation in Construction. 2011. Vol. 20. No.4. Pp. 429-445.
64. Методические рекомендации по разработке профессионального стандарта, утвержденные приказом Министерства труда и социальной защиты Российской Федерации от 29.04.2013 № 170н [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [http://www.eduprof.ru/docs/standards/metod/Metodrekomendatcii\\_\\_06\\_08\\_2013.pdf](http://www.eduprof.ru/docs/standards/metod/Metodrekomendatcii__06_08_2013.pdf)
65. Правила разработки, утверждения и применения профессиональных стандартов, утвержденные постановлением Правительства Российской Федерации от 22.01.2013 № 23 [Электронный ресурс]. Систем. требования: AdobeAcrobatReader. URL: [http://www.eduprof.ru/docs/standards/metod/Prilozhenie\\_k\\_Postanovleniu.pdf](http://www.eduprof.ru/docs/standards/metod/Prilozhenie_k_Postanovleniu.pdf)

66. Исламов Е. И. Квалификационные кадры – основа успешной модернизации ЖКХ // Вестник УГАЭС. Наука, образование, экономика. Серия: Экономика. – 2014. – №1(7). – С.60-64.
67. Fertig J., Zeits G., Blau G., Building internal motivation for worker competency certifications: a critique and proposal // Human resource development review. 2009. Vol. 8. No.2. Pp. 197-222.
68. Юкио Сато. Без паники! Цифровая обработка сигналов: пер. с яп. / Юкио Сато. – М.: Изд-во: Додэка-XXI, 2010. – 176 с.
69. Залманзон Л. А. Преобразование Фурье, Уолша, Хаара и их применение в управлении, связи и других областях / Л. А. Залманзон. – М.: Изд-во: Наука, 1989. – 496 с.
70. Айфичер Э. С. Цифровая обработка сигналов: практический подход: пер. с англ. / Э. С. Айфичер, Б. У. Джервис. – 2-е изд. – М.: Изд-во: Вильямс, 2004. – 992 с.
71. Сергиенко А. Б. Цифровая обработка сигналов: учебник для вузов / А. Б. Сергиенко. – СПб.: Изд-во: Питер, 2006. – 751 с.
72. Раушер, К. Основы спектрального анализа / К. Раушер, Ф. Йанссен, Р. Минихольд. – М.: Горячая линия – Телеком, 2006. – 224 с.
73. Лэй, Э. Цифровая обработка сигналов для инженеров и технических специалистов: практическое руководство / Э. Лэй. – М.: ООО Группа ИДТ, 2007. – 336 с.
74. Черторийский А. А. Спектральные методы: методические указания к лабораторным работам по дисциплине «Обработка сигналов спектральными методами» / А. А. Черторийский. – Ульяновск: УлГТУ, 2012. – 32 с.
75. Кестер У. Проектирование систем цифровой и смешанной обработки сигналов / У. Кестер. – М.: Изд-во: Техносфера, 2010. – 328 с.
76. Иши П. А. Оптимизация преобразования Фурье под архитектуру Эльбрус // Современные информационные технологии и ИТ-образование: сб. тр. VI Международной научно-практической конференции. – М.: 2011. С. 683 – 691.

- 77.Справочник по цифровой вычислительной технике. ЭВМ и системы / Под ред. Малиновского Б. Н. – Киев.:Техника, 1980. – С. 85-90.
78. Вейвлет-анализ в примерах: Учебное пособие / О. В. Нагорнов, В. Г. Никитаев, С. А. Тюфлин, А. Н. Проничев, Т. И. Бухарова, К. С. Чистов, Р. З. Кашафутдинов, В. А. Хоркин. – М.: НИЯУ МИФИ, 2010. – 120 с
- 79.Геппенер Д. А. Wavelet-преобразование в задачах цифровой обработки сигналов / Д. А. Геппенер, Д. А. Черниченко, С. А. Экало. – СПб.: Изд-во: СПбГЭТУ «ЛЭТИ», 2002. – 74 с.
- 80.Смоленцев Н.К. Основы теории вейвлетов. Вейвлеты в MATLAB / Н. К. Смоленцев. – М., ДМК Пресс, 2005. – 303 с.
- 81.Роби Поликар. Введение в вейвлет-преобразование: пер. с англ. Грибунин В. Г. – СПб.: АВТЭКС Санкт-Петербург, – 59 с.
- 82.Добеши И. Десять лекций по вейвлетам / пер. с англ. Е. Мищенко; под ред. А. П. Петухова. – Ижевск: НИЦ «Регулярная и хаотическая динамика», 2001. – 464 с.
- 83.Петухов А. П. Введение в теорию базисов всплесков / А. П. Петухов. – СПб.: Изд-во СПбГТУ, 1999. – 132 с.
- 84.Воробьев В.И., Грибунин В.Г.Теория и практика вейвлет-преобразования / В. И. Воробьев, В. Г. Грибунин. – СПб.: Изд-во ВУС, 1999. – 208 с.
- 85.Яковлев А. Н. Введение в вейвлет-преобразования: Учеб. пособие / А. Н. Яковлев. – Новосибирск: Изд-во: НГТУ, 2003. – 104 с.
- 86.Астафьева Н. М. Вейвлет-анализ: основы теории и примеры применения / Н. М. Астафьева // Успехи физических наук. – 1998.– Т. 166. – № 11. – С. 1145–1170.
- 87.Захаров В. Г. Разработка и применение методов вейвлет-анализа к нелинейным гидродинамическим системам: Дис. канд. физ.-мат. наук. – Пермь, 1997. – 84 с.
- 88.Новиков Л. В. Спектральный анализ сигналов в базисе вейвлетов / Л. В. Новиков // Научное приборостроение. – 2000. – Т. 10. – № 3. – С. 70–76.

- 89.Алексеев В. И. Анализ и прогнозирование циклических временных рядов с использованием вейвлетов и нейросетевых нечетких правил вывода / В. И. Алексеев // Вестник Юрского государственного университета. – 2013. – №3 (30). – С. 3–10.
- 90.Дремин И. М. Вейвлеты и их использование / И. М. Дремин, О. В. Иванов, В. А. Нечитайло // Успехи физических наук. – 2001. – №5. – С. 465–501.
- 91.Давыдов А. А. Вейвлет-анализ социальных процессов / А. А. Давыдов // Социологические исследования. – 2003. – №11. – С. 89–102.
- 92.Лазоренко О. В. Вейвлет-анализ модельных сигналов с особенностями. 1. Непрерывное вейвлет-преобразование / О. В. Лазоренко, С. В. Лазоренко, Л. Ф. Черногор // Радиофизика и радиоастрономия. – 2007. – Т. 12 – №2. – С. 182–204.
- 93.Лазоренко О. В. Вейвлет-анализ модельных сигналов с особенностями. 2. Аналитическое и дискретное вейвлет-преобразования / О. В. Лазоренко, С. В. Лазоренко, Л. Ф. Черногор // Радиофизика и радиоастрономия. – 2007. – Т. 12 – №3. – С. 278–294.
- 94.Муллер Н. В. Математическое моделирование и исследование производственных и социальных процессов на основе фрактального и вейвлет-анализа / Н. В. Муллер, С. В. Серый // Управление в социально-экономических системах. – 2009. – №3 (21). – С. 52 – 60.
- 95.Мкртычев О. В. Применение вейвлет-анализа для получения характеристик акселерограмм / О. В. Мкртычев, А. А. Решетов // Вестник МГСУ. – 2013. – №7. – С. 59 – 67.
- 96.Лушавин А. П. Прогнозирование характеристик технологических процессов промышленного производства с использованием искусственных нейронных сетей и вейвлет-преобразований: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. технич. наук (05.13.01) / Лушавин Андрей Петрович; ФГБОУ ВПО «Самарский государственный технический университет». – Самара, 2012 – 23 с.

97. Никульников А. Ю. Технология интерпретации результатов вейвлет-преобразования сейсмической записи: автореф. дис. на соиск. учен. степ. канд. технич. наук (25.00.10) / Никульников Алексей Юрьевич; Российский Государственный Геологоразведочный университет им. Серго Орджоникидзе. – М., 2012 – 27 с.
98. Амосов О. С. Исследование временных рядов с применением методов фрактального и вейвлет анализа / О. С. Амосов, Н. В. Муллер // Интернет-журнал «Науковедение». – 2014. – №3. – С. 1 – 14.
99. Мандрикова О. В., Тиристанов А. Б. Исследование локальных особенностей временного ряда с использованием пакета расширений Wavelet Toolbox // труды Всероссийск. научн. конф. «Проектирование научных и инженерных приложений в среде Matlab». – М.: ИПУ РАН, 28-29 мая 2002г. – С.242-261.
100. Пашуто, В.П. Организация, нормирование и оплата труда на предприятии: учебно-практическое пособие / В.П. Пашуто – Изд. 3-е, перераб. и доп. – М.: Изд-во КНОРУС, 2007. 320 с.
101. Казаков Ю. Н. Основы строительного производства: курс лекций / Н. Ю. Казаков, Л. Д. Копанская, Д. Д. Тишкин. – СПб., 2008. – 208 с.
102. Козин П. А. Математическое планирование эксперимента и подбор состава бетона с зольсодержащими добавками / П. А. Козин, Д. С. Старчуков, И. В. Степанова, Н. В. Ершиков // Бетон и железобетон, 2014. – № 4. – С. 16-18.
103. Афанасьев А.А. Возведение зданий и сооружений из монолитного железобетона / А. А. Афанасьев – М.: Изд-во Стройиздат, 1990. – 384 с
104. Афанасьев А.А. Бетонные работы / Учебник для профобучения, 2-е изд., переработанное и дополненное / А. А. Афанасьев – М.: Высшая школа, 1991. – 288с.
105. Васильченко В.Т. Арматурные работы / В. Т. Васильсенко – М.: Изд-во Стройиздат, 1987. – 312 с.
106. Галумян А.В. Возможности интенсификации сроков строительства в монолитном домостроении. // Научно-техническое творчество молодежи -

- пути к обществу, основанному на знаниях: сб. тр. I Международной научно-практической конференции. – 2009. – с. 110-111.
107. Колчеданцев Л. М. Интенсификация бетонных работ на основе термовиброобработки смесей. Дисс. докт. тех. наук: 05.23.08 / Колчеданцев Леонид Михайлович, СПбГАСУ – СПб., 2002. – 312 с.
108. Теличенко В. И. Технология возведения зданий и сооружений: учеб. для строит. вузов / В. И. Теличенко, О. М. Терентьев, А. А. Лapidус. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Изд-во Высшая школа, 2004. – 446 с.
109. Данилкин М.С. Основы строительного производства: учебник для ВУЗов / М. С. Данилкин, И. А. Мартыненко, С. Г. Страданченко. – Новосибирск: Изд-во Феникс, 2007. – 475 с.
110. Данилов Н. Н. Технология строительного производства: учебник для ВУЗов / Н. Н. Данилов, Т. П. Чернов, Н. А. Руффель и др. – М.: Изд-во Стройиздат, 1977. – 440 с.
111. Галумян А. В. Организационно-технологическая модель скоростного строительства жилых зданий из монолитного железобетона. Дисс. канд. тех. наук: 05.23.08 / Арамаис Варданович Галумян, МГСУ – М., 2004. – 205 с.
112. Соколов Г. К. / Технология и организация строительства: учебник для студ. сред. проф. образования / Г. К. Соколов. – 5-е изд., испр. – М.: Изд-во Академия, 2008. – 528 с.
113. Единые нормы и расценки на строительные, монтажные и ремонтно-строительные работы (ЕНиР): Сборник 4. Монтаж сборных и устройство монолитных железобетонных конструкций. Выпуск 1. Здания и промышленные сооружения [Электронный ресурс] – Режим доступа: <http://dokipedia.ru/document/3949181>.
114. Романович М. А. Математическое моделирование квалификации рабочего / М. А. Романович // Вестник Иркутского государственного технического университета. – 2014. – №12. – С. 135-139.
115. Моделирование сезонных колебаний при изучении производственной системы / С. А. Баркалов, В. Н. Колпачев, П. Н. Курочка,

- А. И. Половинкина // Управление большими системами: сборник трудов. – 2004. – №9. – С. 40-52.
116. Методические рекомендации по оценке сложности и качества работы специалистов (для установления квалификационных категорий и дифференциации должностных окладов) [Электронный ресурс]. URL: [http://uristu.com/library/sssр/usr\\_15381](http://uristu.com/library/sssр/usr_15381)
117. Vladimir Muienski, Igor Pельko, Jasmina Draћиж, Goran Жiroвиж, Milan Trivuniж, Dragana Bibиж, Construction Workers Injury Risk Assessment in Relation to their Experience and Age
118. Тарифы оплаты труда в строительстве [Электронный ресурс]. URL: <http://nordoc.ru/doc/49-49506>.
119. Федюкин, В. К. Методы оценки и управления качеством промышленной продукции: учебник / В. К. Федюкин, В. Д. Дурнев, В. Г. Лебедев М.: Филинь. Рилант, 2001. – 328 с.
120. Федотов Ю. В. Методы построения сводных оценок эффективности деятельности сложных производственных систем / Ю. В. Федотов, Н. В. Хованов // Научные доклады № 25(R) 2006. – СПб.: НИИ менеджмента СПбГУ, 2006.
121. Хованов Н. В. Оценка сложных экономических объектов и процессов в условиях неопределенности. К 95-летию метода сводных показателей А. Н. Крылова / Н. В. Хованов // Вест. С.-Петербургского ун-та. Серия 5. 2005. – Вып. 1. – С. 138-144
122. Анфилатов В. С. Системный анализ в управлении: учеб. пособие / В. С. Анфилатов, А. А. Емельянов, А. А. Кукушкин; под редакцией А. А. Емельянова. – М. : Финансы и статистика, 2006. – 368 с.
123. Денисов А. А. Теория больших систем управления: учебное пособие для вузов / А. А. Денисов, Д. Н. Колесников. – Л.: Энергоатомиздат, 1982. – 288 с.

124. Коротков Э. А. Система комплексной оценки качества образования специалиста / Э. А. Коротков // Высшее образование в России. 1995. – № 2. – С. 72-78.
125. Брахман Т. Р. Многокритериальность и выбор альтернативы в технике / Т. Р. Брахман. – М.: Радио и связь, 1984. – 287 с.
126. Петров К. Э. Мультипликативно-аддитивная функция оценки полезности // Радиоэлектроника и информатика. – 2000. – № 4. – С. 35–36.
127. Овезгельдыев А. О. Синтез и идентификация моделей многофакторного оценивания и оптимизации / О. А. Овезгельдыев, Э. Г. Петров, К. Э. Петров. – К.: Наук. думка, 2002. – 164 с.
128. Бескоровайный В. В., Трофименко И. В. Параметрическая идентификация мультипликативных моделей для многофакторного выбора решений // Зб. наук. пр. Харк. ун-ту повітряних сил. – Х.: ХУПС, 2005. – Вип. 5(5). – С. 74-78.
129. Соболева Е. В. Модификация критериев обобщенной полезности в задачах идентификации многокритериального выбора // System Research & Information Technologies. 2012. №3. С. 58-65.
130. Болотин С. А. Оценка погрешности в аддитивном показателе качества календарного плана строительства / С. А. Болотин, А. Х. Дадар // Вестник Тывинского государственного университета. – 2010. – №3. – С. 13-16.
131. Романович М. А. Математическое моделирование при определении квалификационного состава бригад // Актуальные проблемы строительства: материалы международной научно-практической конференции студентов, аспирантов, молодых ученых и докторантов. СПб: СПбГАСУ. – 2014. – С. 154-156.
132. Романович М. А. Интегральная оценка рейтинга квалификации строительных рабочих / М. А. Романович, Т. Л. Симанкина, Д. П. Ильченко // Промышленное и гражданское строительство. 2015. – № 5. – С. 73-77.
133. Гребнева О. А. Теория принятия решений: учебн. пособ. / О. А. Гребнева. – Иркутск. Изд-во: ИрГТУ, 2012. – 78 с.



134. Федосеев В. В. Экономико-математические методы и прикладные модели / В. В. Федосеев, А. Н. Гармаш, Д. М. Дайитбегов и др. – М.: ЮНИТИ, 1999. – 391 с.
135. Елисеева И. И. Эконометрика / И. И. Елисеева, С. В. Курышева, Т. В. Костеева и др.; под ред. И. И. Елисеевой. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Финансы и статистика, 2007. – 576с.
136. Справочник по прикладной статистике. В 2-х т. Т.1: Пер. с англ. / Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю. Н. Тюрина. – М.: Финансы и статистика, 1989. – 510 с.
137. Справочник по прикладной статистике. В 2-х т. Т.2: Пер. с англ. / Под ред. Э. Ллойда, У. Ледермана, Ю. Н. Тюрина. – М.: Финансы и статистика, 1990. – 526 с.
138. Елисеева И. И. Общая теория статистики / И. И. Елисеева, М. М. Юзбашев – М.: Финансы и статистика, 2001. – 480 с.
139. Сиденко А. В. Практикум по социально-экономической статистике / А. В. Сиденко, В. А. Матвеева. – М.: Изд-во: Дело и сервис, 2004. – 136 с.
140. Ефимова М. Р. Общая теория статистики / М. Р. Ефимова, Е. В. Петрова, В. Н. Румянцев. – М.: Изд-во: ИНФА-М, 2005. – 416 с.
141. Данилов Ю. А. Многочлены Чебышева / Ю. А. Данилов. – Минск: Высшая школа, 1984. – 160 с.
142. Суетин П. К. Классические ортогональные многочлены / П. К. Суетин – 3-е изд., перераб. и доп. – М.: ФИЗМАТЛИТ, 2005. – 480 с.
143. Денисова Э. В. Краткий курс вычислительной математики: учебно-методическое пособие / Э. В. Денисова, А. В. Кучер. – СПб: СПбГУ ИТМО, – 2013. – 90 с.
144. Калиткин Н. Н. Численные методы: учебное пособие /Н. Н. Калиткин. – СПб.: БХВ-Петербург, 2011. – 592 с.
145. Корнейчук Б. В. Экономика: учебник / Б. В. Корнейчук. – М.: Экономист, 2004. – 458 с.

146. Ломкова Е. Н. Экономико-математические модели управления производством (теоретические аспекты): учеб. пособие / Е. Н. Ломкова, А. А. Эпов. – Волгоград: ВолгГТУ, 2005. – 67 с.
147. Хазанова Л. Э. Математическое моделирование в экономике / Л. Э. Хазанова – М.: БЕК, 1998. – 141 с.
148. Ровба Е. А. Высшая математика: учеб. пособие / Е. А. Ровба, А. С. Ляликов, Е. А. Сетько, К. А. Смотрецкий. – Минск: Выш. шк., 2012. – 391 с.
149. Светуньков С. Г. Экономическая динамика производственных функций / С. Г. Светуньков, И. С. Абдуллаев // Вестник ОГУ. 2009. – № 5. – С. 110-114.
150. Симанкина Т. Л. Совершенствование календарного планирования ресурсосберегающих потоков с учетом аддитивности интенсивности труда исполнителей. Дис. канд. техн. наук: 05.23.08 / Симанкина Татьяна Леонидовна, СПбГАСУ. – СПб, 2007. – 156 с.
151. Шундалов Б. М. Общая теория статистики: учебное пособие / Б. М. Шундалов. – Горки: УО БГСХА, 2005. – 296 с.
152. Романович М. А. Выявление закономерностей основных параметров строительного процесса / М. А. Романович // Современные направления развития технологии, организации и экономики строительства: сборник научных трудов участников межвузовского научно-практического семинара – СПб, 2015. – №18. – С. 135-139.
153. Романович М. А. Применение спектрального анализа процесса изменения ежедневных объемов работ для календарного планирования / М. А. Романович // Современные проблемы науки и образования. – 2015. – №1. [Электронный ресурс]. URL: <http://www.science-education.ru/121-19053>.

## ПРИЛОЖЕНИЕ А

Таблица А.1 – Расчет объемов работ и их трудоемкостей

№ п/п	Обоснование ЕНиР	Вид работ	Ед. изм.	Объем работ	Норма времени		Состав звена	Трудоемкость	
					Рабочий, чел-ч	Машины, маш-ч		Рабочий, чел-ч	Машины, маш-ч
1	Е4-1-46	Установка и вязка арматуры отдельными стержнями (плита перекрытия)	1 т	81,7	8		Арматурщик 4 разр. - 1; Арматурщик 2 разр. - 1;	54,47	
2	Е4-1-44	Установка арматурных сеток и каркасов вручную (плита перекрытия)	1 ед.	64	0,36		Арматурщик 3 разр. - 1; Арматурщик 2 разр. - 2;	1,92	
3	Е4-1-46	Установка и вязка арматуры отдельными стержнями (стены ЛШ)	1 т	6,7	15		Арматурщик 4 разр. - 1; Арматурщик 2 разр. - 1;	8,38	
4	Е4-1-44	Установка арматурных сеток и каркасов вручную (стены ЛШ)	1 ед.	484	0,17		Арматурщик 3 разр. - 1; Арматурщик 2 разр. - 2;	6,86	
5	Е4-1-46	Установка и вязка арматуры отдельными стержнями (стены)	1 т	32,2	15		Арматурщик 5 разр. - 1; Арматурщик 2 разр. - 1;	40,25	
6	Е4-1-46	Установка и вязка арматуры отдельными стержнями (колонны)	1 т	3,1	8,7		Арматурщик 4 разр. - 1; Арматурщик 2 разр. - 1;	2,25	
7	Е4-1-46	Установка и вязка арматуры отдельными стержнями (лестничные марши, площадки)	1 т	7,63	38,5		Арматурщик 5 разр. - 1; Арматурщик 2 разр. - 1;	24,48	
8	Е4-1-44	Установка арматурных сеток и каркасов вручную (стены)	1 ед.	1660	0,17		Арматурщик 3 разр. - 1; Арматурщик 2 разр. - 2;	23,52	
9	Е4-1-42	Установка стальных закладных деталей в опалубку	1 ед.	184	0,67		Арматурщик 4 разр. - 1; Плотник 3 разр. - 1;	10,27	

## Продолжение таблицы А.1

№ п/п	Обоснование ЕНиР	Вид работ	Ед. изм.	Объем работ	Норма времени		Состав звена	Трудоемкость	
					Рабочий, чел-ч	Машины, маш-ч		Рабочий, чел-ч	Машины, маш-ч
10	Е4-1-37	Установка металлической опалубки стен	1 кв. м	4827	0,28		Слесарь 4 разр. - 1; Слесарь 3 разр. - 2;	112,63	
11	Е4-1-37	Установка металлической опалубки колонн	1 кв. м	68,2	0,19		Слесарь 4 разр. - 1; Слесарь 3 разр. - 2;	1,08	
12	Е4-1-49	Укладка бетонной смеси в конструкции (стены и перегородки)	1 куб.м	396	0,34		Бетонщик 4 разр - 1; Бетонщик 2 разр. - 1;	11,22	
13	Е4-1-49	Укладка бетонной смеси в конструкции (колонны)	1 куб.м	14	1,1		Бетонщик 4 разр - 1; Бетонщик 2 разр. - 1	1,28	
14	Е4-1-49	Укладка бетонной смеси в конструкции (перекрытие)	1 куб.м	657	0,22		Бетонщик 4 разр - 1; Бетонщик 2 разр. - 1;	12,05	
15	Е4-1-49	Укладка бетонной смеси в конструкции (площадки)	1 куб.м	51,44	2,1		Бетонщик 4 разр - 1; Бетонщик 2 разр. - 1;	9,00	
16	Е4-1-50	Установка и снятие электродов для электропрогрева бетона	1 куб.м	1118,44	0,98		Электромонтер 5 разр - 1; Электромонтер 3 разр. - 2;	91,34	
17	Е4-1-37	Разборка металлической опалубки стен	1 кв. м	4827	0,11		Слесарь 3 разр. - 1; Слесарь 2 разр. - 2;	44,25	
18	Е4-1-37	Разборка металлической опалубки колонн	1 кв. м	68,2	0,14		Слесарь 3 разр. - 1; Слесарь 2 разр. - 2;	0,80	
19	Е4-1-35	Устройство подвесной опалубки перекрытий	1 кв. м	3082,13	0,59		Плотник 4 разр.-1; Плотник 3 разр.-1;	151,54	
20	Е4-1-35	Разборка подвесной опалубки перекрытий	1 кв. м	3082,13	0,29		Плотник 3 разр.-1; Плотник 2 разр.-1;	74,48	

## Окончание таблицы А.1

№ п/п	Обоснование ЕНиР	Вид работ	Ед. изм.	Объем работ	Норма времени		Состав звена	Трудоемкость	
					Рабочий, чел-ч	Машины, маш-ч		Рабочий, чел-ч	Машины, маш-ч
<b>Монтаж сборных ж/б элементов</b>									
1	Е4-1-10	Установка лестничных маршей и укладка плит лестничных площадок	1 эл.				Монтажник 4 разр.-2; Монтажник 3 разр. - 1; Монтажник 2 разр - 1; Машинист крана 6 разр. - 1		
		марши		14	2,2	0,55		3,85	0,96
<b>Всего по работам</b>								<b>685,90</b>	<b>0,96</b>



## ПРИЛОЖЕНИЕ В

### Графики заливки бетона на объекте А

Таблица В. 1 – График заливки бетона на объекте А за октябрь

	октябрь																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
<b>Блок 4</b>																															
колонны 1 этажа	1,2	1,2	1,2																												
стены 1 этажа	6,8	11,3	11,8	9,0	6,1	15,9	1,7	7,2																4,5				12,5			
ЛШ 1 этажа	5,1														6,8												3,0				
ЛШ цок.																												3,5		3,0	
ЛМ																						1,6									
ПП 1 этажа	6,4				6,2							144,0									178,0					123,5				129,0	
колонны 2 этажа																															
стены 2 этажа																											17,0				
ЛШ 2 этажа																															
ПП 2 этажа																															
<b>Блок 5</b>																															
колонны 1 этажа										1,2	1,2	1,2			2,4		2,5														
стены 1 этажа					7,8		12,3	10,8	19,0	23,5	15,8	8,8	16,5	7,6	8,8	15,0	16,3	15,1	11,5	14,0	16,4	16,9	7,5						9,0		
ЛШ 1 этажа																															
ПП 1 этажа				111,0																											
колонны 2 этажа																													1,4	0,7	
стены 2 этажа																								11,0					13,9	15,9	
ЛШ 2 этажа																															
<b>Итого объем (куб. м)</b>	19,5	12,5	13,0	120,0	20,1	15,9	14,0	18,0	19,0	24,7	17,0	154,0	16,5	7,6	18,0	15,0	18,8	15,1	11,5	192,0	18,0	16,9	7,5	15,5	123,5	3,0	17,0	16,0	15,3	145,6	12,0
<b>Объем накопительным итогом (куб. м)</b>	19,5	32,0	45,0	165,0	185,1	201,0	215,0	233,0	252,0	276,7	293,7	447,7	464,2	471,8	489,8	504,8	523,6	538,7	550,2	742,2	760,2	777,1	784,6	800,1	923,6	926,6	943,6	959,6	974,9	1120,5	1132,5

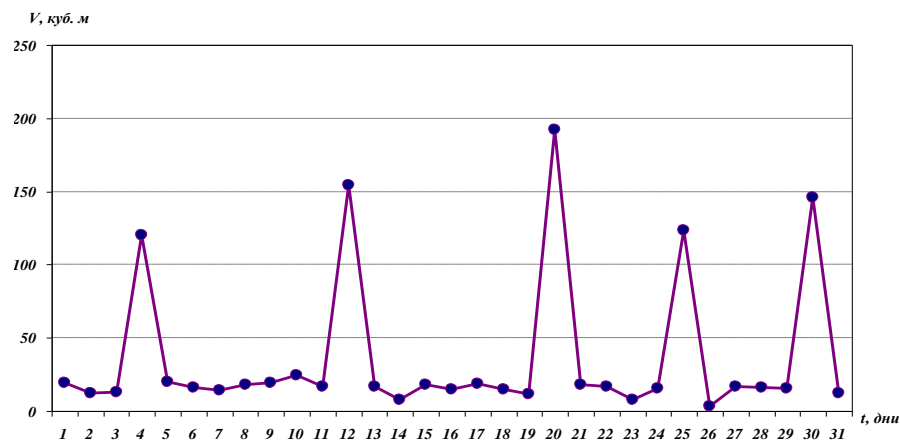


Рисунок В. 1 – График заливки бетона на объекте А за октябрь

Таблица В. 2 – График заливки бетона на объекте А за ноябрь

	ноябрь																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
<b>Блок 2</b>																																
колонны 2 этажа		0,7	0,7	0,7														1,4	1,4	1,4												
стены 2 этажа	1,7	27,8	14,0	14,8	18,0	8,2	16,2	15,5	17,2	11,2	8,0	26,0	15,6	16,2	19,0	9,0	21,0	7,1	10,5	0,4	13,5			12,0								
ЛПШ 2 этажа	4,0		4,3								5,5		5,4								4,3	4,2										
ПП 2 этажа											101,0						151,0											125,4				
ЛМ (1, цок. этажей), МП			3,0								1,5										1,3				3,0							
колонны 3 этажа																																
стены 3 этажа																					16,1		13,5	13,2		17,8	16,0	16,3	22,8	6,8		
ЛПШ 3 этажа												6,8						4,3	1,2									4,3		12,0	10,0	
ПП 3 этажа																					75,8											
<b>Блок 3</b>																																
колонны 2 этажа																																
стены 2 этажа											15,8																					
ЛПШ 2 этажа																																
ПП 2 этажа		76,0																						115,5								
ЛМ (1, цок. этажей), МП																																
колонны 3 этажа																																
стены 3 этажа																																
ЛПШ 3 этажа																																
<b>Итого объем (куб. м)</b>	5,7	104,5	22,0	15,5	18,0	8,2	16,2	15,5	33,0	11,2	116,0	26,0	21,0	16,2	25,8	9,0	172,0	12,8	13,1	95,0	17,8	17,7	13,2	127,5	20,8	16,0	16,3	152,5	6,8	12,0	10,0	
<b>Объем накопительным итогом (куб. м)</b>	5,7	110,2	132,2	147,7	165,7	173,9	190,1	205,6	238,6	249,8	365,8	391,8	412,8	429,0	454,8	463,8	635,8	648,6	661,7	756,7	774,5	792,2	805,4	932,9	953,7	969,7	986,0	1138,5	1145,3	1157,3	1167,3	

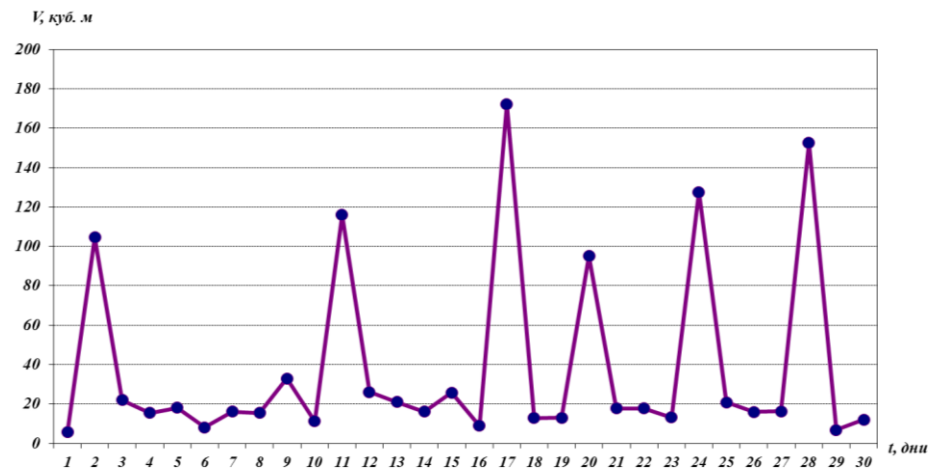


Рисунок В. 2 – График заливки бетона на объекте А за ноябрь



Таблица В. 3 – График заливки бетона на объекте А за декабрь

	декабрь																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
<b>Блок 2</b>																																
колонны 3 этажа							0,7																									
стены 3 этажа	12,1	10,4	22,0										7,0				4,2															
ЛПШ 3 этажа	4,2	5,5		5,4														3,0														
ППШ 3 этажа	0,7																				120,0											
ЛМ (1, цок.), МП												4,3		3,1			0,6									0,6						
колонны 4 этажа																	0,7		0,7			0,7	0,7									
стены 4 этажа														14,5	16,7	14,7	2,1	15,0	17,1	19,0	20,7	15,4	14,0	16,1	13,3		11,0					
ЛПШ 4 этажа																			4,0		4,1											
ППШ 4 этажа						94,0						123,0			95,5																	
<b>Блок 3</b>																																
колонны 3 этажа					0,7																											
стены 3 этажа				15,8	17,7	17,3	18,5	13,8	19,0	13,2	13,8	16,0	13,3							1,0												
ЛПШ 3 этажа																																
ППШ 3 этажа																									104,0				98,0			
колонны 4 этажа																																
стены 4 этажа																		12,3									13,5	18,0				
ЛПШ 4 этажа																																
ППШ 4 этажа																																
ППШ 2 этажа		78,5																														
<b>Итого объем (куб. м)</b>	17,0	94,4	22,0	21,2	17,7	112,0	19,2	13,8	19,0	13,2	13,8	16,0	140,6	7,0	17,6	112,2	18,9	18,7	15,0	22,8	139,0	25,5	16,1	14,0	16,7	117,3	13,5	11,0	116,0			
<b>Объем накопительным итогом (куб. м)</b>	17,0	111,4	133,4	154,6	172,3	284,3	303,5	317,3	336,3	349,5	363,3	379,3	519,9	526,9	544,5	656,7	675,6	694,3	709,3	732,1	871,1	896,6	912,7	926,7	943,4	1060,7	1074,2	1085,2	1201,2			

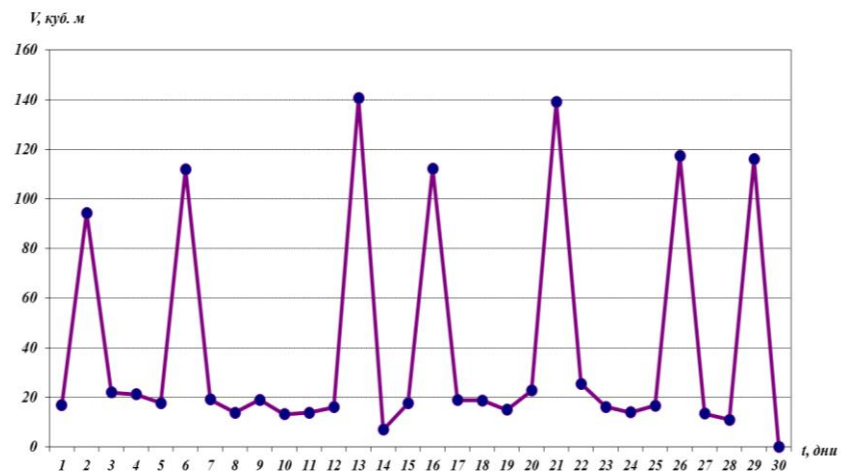


Рисунок В. 3 – График заливки бетона на объекте А за декабрь

Таблица В. 4 – График заливки бетона на объекте А за январь

	январь																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
<b>Блок 2</b>																															
колонны 5 этажа																	0,7		0,8		0,7							0,7		0,7	
стены 5 этажа															9,0	19,5	13,0	12,0	12,8	13,1	12,3	13,7	16,4	16,0	15,7	14,0	3,7	13,0	20,7		
ЛПП 5 этажа																		5,0	2,5				4,0					4,0			
ПП 5 этажа																			100,0												
ЛМ (1, цок.), МП										2,4									0,7						2,0			0,7			
колонны 6 этажа																															
стены 6 этажа																															
ЛПП 6 этажа																															
ПП 6 этажа																															
<b>Блок 3</b>																															
колонны 4 этажа											0,7		0,7			0,7	0,7														
стены 4 этажа					22,0	9,3	15,0	7,0	15,0	18,9	18,5	13,6	13,0	13,0	6,2															18,5	
ЛПП 4 этажа																		4,2													
ПП 4 этажа								92,0						130,0										121,5				118,0		82,5	
колонны 5 этажа																															
стены 5 этажа																													1,8	9,8	
ЛПП 5 этажа																															
<b>Итого объем (куб. м)</b>					22,0	9,3	15,0	99,0	15,0	22,0	18,5	14,3	13,0	143,0	15,9	20,2	17,9	117,0	16,8	13,1	13,0	13,7	141,9	16,0	17,7	14,0	126,4	13,7	23,2	9,8	101,0
<b>Объем накопительным итогом (куб. м)</b>					22,0	31,3	46,3	145,3	160,3	182,3	200,8	215,1	228,1	371,1	387,0	407,2	425,1	542,1	558,9	572,0	585,0	598,7	740,6	756,6	774,3	788,3	914,7	928,4	951,6	961,4	1062,4

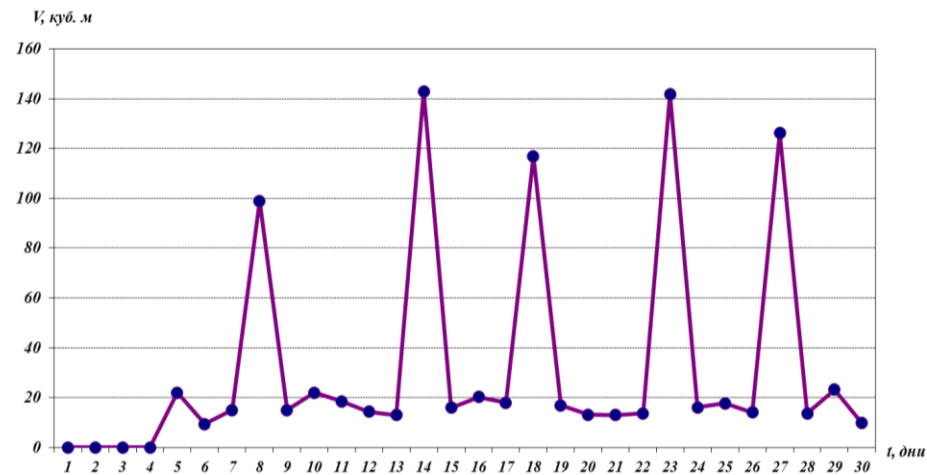


Рисунок В. 4 – График заливки бетона на объекте А за январь

Таблица В. 5 – График заливки бетона на объекте А за февраль

	февраль												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
<b>Блок 2</b>													
колонны 6 этажа													
стены 6 этажа		1,0								10,3		8,4	
ЛШ 6 этажа	5,5			5,5									
ПП 6 этажа							65,0			83,6		73,0	
ЛМ (1, цок.), МП			1,5							1,4		0,7	
колонны 7 этажа													
стены 7 этажа													
ЛШ 7 этажа													
ПП 7 этажа			98,5										
<b>Блок 3</b>													
колонны 5 этажа				0,7							0,7		
стены 5 этажа	10,5	6,0	16,0	14,5	9,0	12,8	16,2		21,9	1,3	5,5	10,3	14,0
ЛШ 5 этажа							2,5					4,0	1,5
ПП 6 этажа													
колонны 6 этажа													
стены 6 этажа													
ЛШ 6 этажа													
<b>Итого объем (куб. м)</b>	16,0	7,0	116,0	20,7	9,0	12,8	83,7	0,0	21,9	96,6	6,2	96,4	15,5
<b>Объем накопительным итогом (куб. м)</b>	16,0	23,0	139,0	159,7	168,7	181,5	265,2	265,2	287,1	383,7	389,9	486,3	501,8

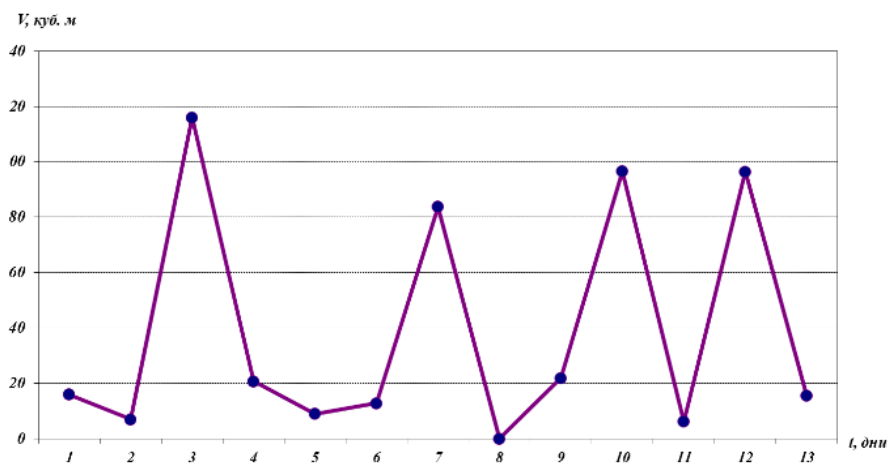


Рисунок В. 5 – График заливки бетона на объекте А за февраль

## ПРИЛОЖЕНИЕ Г

### Графики заливки бетона на объекте Б

**Таблица Г. 1 – График заливки бетона на объекте Б за октябрь**

	октябрь																															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	
<b>Блок 2</b>																																
колонны 3 этажа		3,5				1,4	0,7		0,7																							
стены 3 этажа		17,2	13,2	10,5	23,2	10,2	16,3	17,0	7,3	18,5	14,2	8,5	15,8	18,1	5,5																	
ЛПШ 3 этажа		1,5					5,0	4,0															2,1									
ЛМ (1, цок. этажей), МП	1,6				1,6								1,5																		1,2	
ПП 3 этажа							145,0			79,5			98,5				142,0					83,0										
колонны 4 этажа																																
стены 4 этажа																												20,0	25,7	12,8		
ЛПШ 4 этажа																																
<b>Блок 3</b>																																
колонны 3 этажа																		1,4						1,4		0,7						
стены 3 этажа	13,0													1,9	13,8	13,1	18,0	13,5	13,2	7,7	17,8	14,2	17,3	21,2	14,6	6,3	10,0					
ЛПШ 3 этажа		4,0																		5,5		6,0									4,0	
ЛМ (1, цок. этажей), МП																		1,5												1,5		
ПП 3 этажа																											118,5		6,3	126,0		
колонны 4 этажа																																
стены 4 этажа																																
ЛПШ 4 этажа																																
<b>Итого объем (куб. м)</b>	14,6	26,2	13,2	10,5	24,8	11,6	167,0	21,0	10,5	98,0	14,2	8,5	115,8	20,0	19,3	13,1	160,0	16,4	13,2	13,2	100,8	20,2	19,4	22,6	14,6	7,0	128,5	20,0	33,5	0,0	144,0	
<b>Объем накопительным итогом (куб. м)</b>	14,6	40,8	54,0	64,5	89,3	100,9	267,9	288,9	299,4	397,4	411,6	420,1	535,9	555,9	575,2	588,3	748,3	764,7	777,9	791,1	891,9	912,1	931,5	954,1	968,7	975,7	1104,2	1124,2	1157,7	1157,7	1301,7	

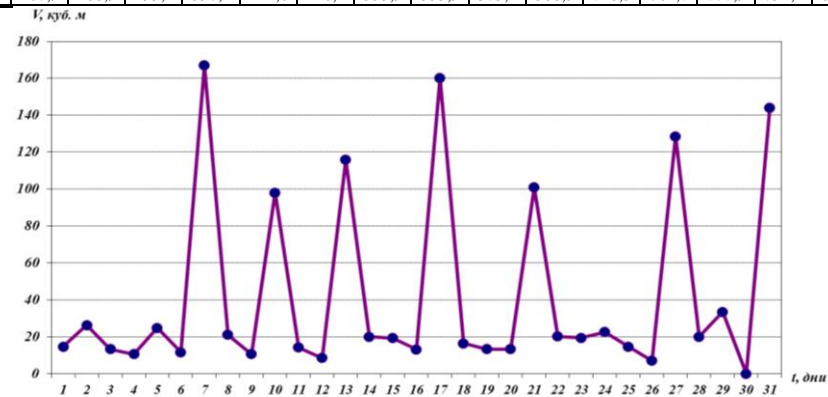


Рисунок Г. 1 – График заливки бетона на объекте Б за октябрь

Таблица Г. 2 – График заливки бетона на объекте Б за ноябрь

	ноябрь																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	
<b>Блок 2</b>																															
колонны 4 этажа	1,4			1,4		1,4																									
стены 4 этажа	25,5		13,7	21,4	11,1	14,4	11,8	18,4	12,0																						
ЛШ 4 этажа		4,0		4,0					6,0		5,6																				
ПП 4 этажа									163,0							156,0															
ЛМ (1, пок. этажей), МП	2,5							0,6		2,3	1,2							3,3				1,7						2,0			
колонны 5 этажа																							0,7	0,7	0,7	0,7		0,7		0,7	
стены 5 этажа																					10,4	18,0	13,4	13,8	14,1	17,3	11,5	14,4	19,1	24,2	13,9
ЛШ 5 этажа																								4,0		4,0					
<b>Блок 3</b>																															
колонны 4 этажа											1,4							0,7	0,7	0,7											
стены 4 этажа										17,7	18,7	15,4	14,7	24,0	19,5	6,5	17,7	16,0	18,3	3,5											
ЛШ 4 этажа																5,5						6,5		4,0							
ПП 4 этажа				75,0																			119,0				126,0			71,0	
ЛМ (1, пок. этажей), МП																						0,6									
колонны 5 этажа																															
стены 5 этажа																															
ЛШ 5 этажа																															
<b>Итого объем (куб. м)</b>	29,4	4,0	13,7	101,8	11,1	15,8	11,8	19,0	181,0	20,0	18,7	23,6	14,7	24,0	19,5	168,0	17,7	20,0	19,0	14,6	24,5	134,7	18,5	18,8	18,0	142,2	14,4	21,8	95,2	14,6	
<b>Объем накопительным итогом (куб. м)</b>	29,4	33,4	47,1	148,9	160,0	175,8	187,6	206,6	387,6	407,6	426,3	449,9	464,6	488,6	508,1	676,1	693,8	713,8	732,8	747,4	771,9	906,6	925,1	943,9	961,9	1104,1	1118,5	1140,3	1235,5	1250,1	

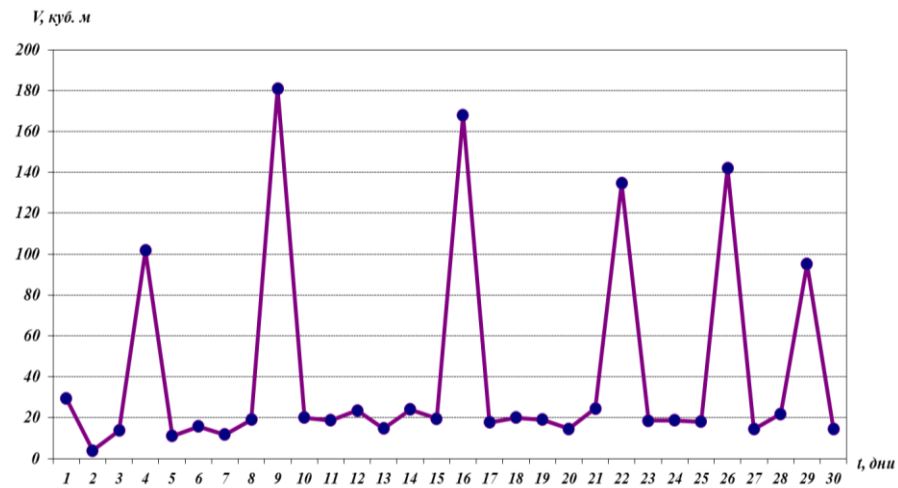


Рисунок Г. 2 – График заливки бетона на объекте Б за ноябрь

Таблица Г. 3 – График заливки бетона на объекте Б за декабрь

	декабрь																														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31
<b>Блок 2</b>																															
колонны 6 этажа																		0,7	0,7		0,7	0,7			1,4						
стены 6 этажа													9,8		23,0	12,1	9,7	18,8	15,8	18,3	17,3	11,0	23,0	12,6							
ЛПП 6 этажа				5,6		5,5															4,0										
ПП 6 этажа				96,3						137,0																					
ЛМ (1, цок.), МП	2,0			5,2			3,7						0,6				3,4								1,9	2,0					
колонны 7 этажа																															
стены 7 этажа																															
ЛПП 7 этажа																															
<b>Блок 3</b>																															
колонны 5 этажа												0,7			0,7																
стены 5 этажа	13,5	14,0	18,0	13,9	11,5	16,0	16,0	14,0	3,0	18,0	24,0	15,9	14,5																		
ЛПП 5 этажа																	6,3	4,0													
ПП 5 этажа												81,0						159,0						156,0							
ЛМ (1, цок. этажей), МП																															
колонны 6 этажа																															
стены 6 этажа																										17,0	14,8	23,5	12,0	17,0	8,5
ЛПП 6 этажа																															
<b>Итого объем (куб. м)</b>	15,5	14,0	18,0	121,0	11,5	21,5	19,7	14,0	140,7	18,0	24,0	96,9	25,6	0,0	23,0	12,1	20,1	182,5	15,8	19,0	22,0	11,0	23,0	171,9	19,0	14,8	23,5	171,0	17,0	8,5	
<b>Объем накопительным итогом (куб. м)</b>	15,5	29,5	47,5	168,5	180,0	201,5	221,2	235,2	375,9	393,9	417,9	514,8	540,4	540,4	563,4	575,5	595,6	778,1	793,9	812,9	834,9	845,9	868,9	1040,8	1059,8	1074,6	1098,1	1269,1	1286,1	1294,6	

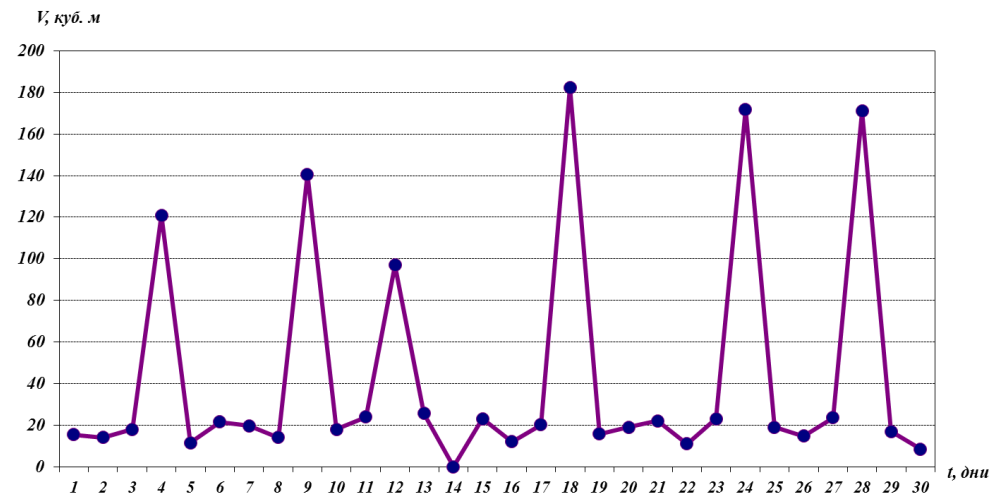


Рисунок Г. 3 – График заливки бетона на объекте Б за декабрь

Таблица Г. 4 – График заливки бетона на объекте Б за январь

	январь																																
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31		
<b>Блок 2</b>																																	
колонны 7 этажа																								0,7									
стены 7 этажа											8,5	11,5	17,4	6,8	17,0	14,7	13,5	17,0	9,5				11,8	18,0	15,7								
ЛШ 7 этажа																								4,0									
ПП 7 этажа												85,0			74,0																		
ЛМ (1, цок.), МП											1,2		0,6		2,0						1,0		1,5	1,5					2,0	2,0	2,0		
колонны 8 этажа																																	
стены 8 этажа																																	
ЛШ 8 этажа																																	
ПП 8 этажа																																	159,0
<b>Блок 3</b>																																	
колонны 6 этажа											0,7		0,7			0,7				0,7		0,7	0,7										
стены 6 этажа					22,5	16,0	14,0	3,0	18,7	18,5	4,8								1,0	10,5	14,3	13,8											
ЛШ 6 этажа				5,8			6,0						5,9				6,5					4,0		4,0									
ПП 6 этажа																		117,0					126,0			69,0							
ЛМ (1, цок. этажей), МП																																	
колонны 7 этажа																												0,7	0,7	0,7		0,7	
стены 7 этажа																											16,0	13,3	8,6	22,3	22,1	16,8	
ЛШ 7 этажа																																	
<b>Итого объем (куб. м)</b>					28,3	16,0	14,0	9,0	18,7	19,2	14,5	97,2	23,9	6,8	93,7	14,7	20,0	134,0	11,2	15,5	15,0	146,0	14,0	22,0	84,7	16,0	16,0	11,3	23,0	24,1	176,5		
<b>Объем накопительным итогом (куб. м)</b>					28,3	44,3	58,3	67,3	86,0	105,2	119,7	216,9	240,8	247,6	341,3	356,0	376,0	510,0	521,2	536,7	551,7	697,7	711,7	733,7	818,4	834,4	850,4	861,7	884,7	908,8	1085,3		

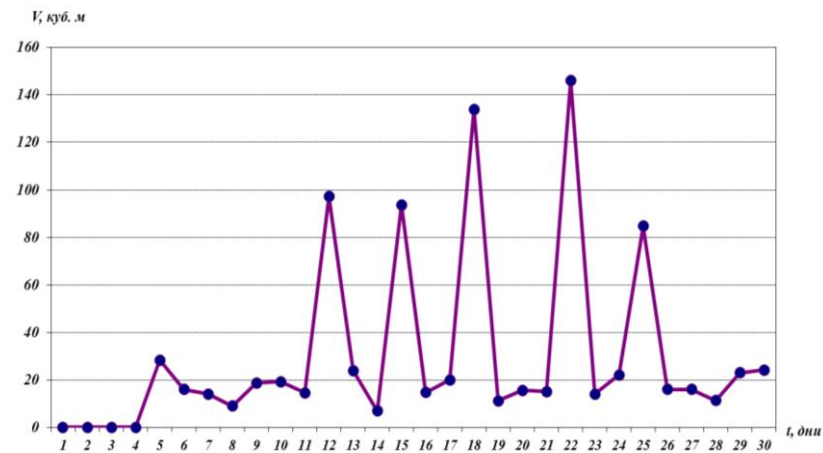


Рисунок Г. 4 – График заливки бетона на объекте Б за январь

Таблица Г. 5 – График заливки бетона на объекте Б за февраль

	февраль									
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
<b>Блок 2</b>										
колонны 8 этажа						0,7			0,7	
стены 8 этажа					16,6	10,2		18,0	10,7	11,6
ЛШ 8 этажа	5,6						5,9			
ПП 8 этажа					85,0					76,0
ЛМ (1, цок.), МП		0,6			1,4	1,5	0,6			
колонны 9 этажа										
стены 9 этажа										
ЛШ 9 этажа										
ПП 9 этажа										
<b>Блок 3</b>										
колонны 8 этажа		0,7								
стены 8 этажа	7,5	17,1	17,7	13,8				2,3		
ЛШ 8 этажа										
ПП 8 этажа										
ЛМ (1, цок. этажей), МП			1,4		0,6	0,6			0,6	1,4
колонны 9 этажа										
стены 9 этажа										
ЛШ 9 этажа										
<b>Итого объем (куб. м)</b>	13,1	18,4	19,1	13,8	103,6	13,0	6,5	20,3	12,0	89,0
<b>Объем накопительным итогом (куб. м)</b>	13,1	31,5	50,6	64,4	168,0	181,0	187,5	207,8	219,8	308,8

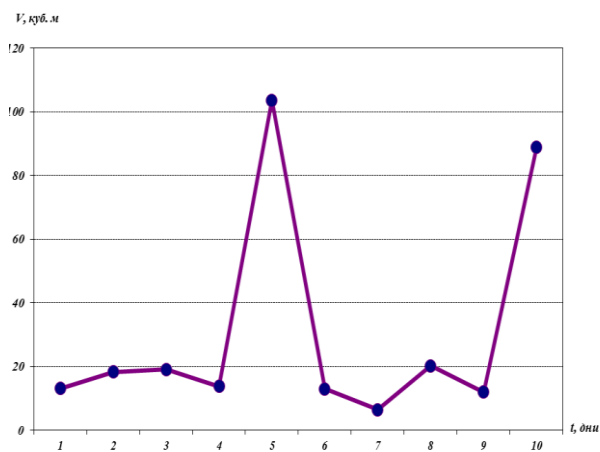


Рисунок Г. 5 – График заливки бетона на объекте Б за февраль



## ПРИЛОЖЕНИЕ Д

### Листинг программы-макроса для реализации методики формирования качественного и количественного состава бригады

#### *Интерфейс*

```

Sub КнопкаСледующийМесяц_Click()
    If MsgBox("Создать лист на следующий месяц?", vbYesNo, "Подтверждение")
    <> vbYes Then
        Exit Sub
    End If

    On Error GoTo Finally
    Application.ScreenUpdating = False

    Dim ЛистМесяцШаблон As Worksheet
    Dim ЛистМесяц As Worksheet
    Dim ЛистПредыдущийМесяц As Worksheet
    Dim ПоследнийМесяц As Date

    ПоследнийМесяц = DateSerial(1900, 1, 1)
    For Each Worksheet In ActiveWorkbook.Worksheets
        If Worksheet.Name <> "Месяц" Then
            For Each Name In Worksheet.Names
                If Name.Name = Worksheet.Name & "!" & "ПервыйДень" Then
                    If Worksheet.Names("ПервыйДень").RefersToRange.Value >
ПоследнийМесяц Then
                        ПоследнийМесяц =
Worksheet.Names("ПервыйДень").RefersToRange.Value
                        Set ЛистПредыдущийМесяц = Worksheet
                    End If
                End If
            Next
        End If
    Next

    If ПоследнийМесяц = DateSerial(1900, 1, 1) Then
        Dim D As Date: D = DateAdd("m", -1, Date)
        ПоследнийМесяц = DateSerial(Year(D), Month(D), 1)
    End If

    ПоследнийМесяц = DateAdd("m", 1, ПоследнийМесяц)

    Set ЛистМесяцШаблон = ActiveWorkbook.Worksheets("Месяц")

```

```

ЛистМесяцШаблон.Сору
After:=ActiveWorkbook.Worksheets(ActiveWorkbook.Worksheets.Count)
Set ЛистМесяц =
ActiveWorkbook.Worksheets(ActiveWorkbook.Worksheets.Count)
ЛистМесяц.Visible = xlSheetVisible

```

```

ЛистМесяц.Unprotect

```

```

ЛистМесяц.Names("ПервыйДень").RefersToRange.Value = ПоследнийМесяц
ЛистМесяц.Name = MonthName(DatePart("m",
ЛистМесяц.Names("ПервыйДень").RefersToRange.Value), True)

```

```

If Not (ЛистПредыдущийМесяц Is Nothing) Then
    ЛистМесяц.Names("AlphaXPrev").RefersToRange.Formula = "=" &
ЛистПредыдущийМесяц.Name & "!" & "AlphaX"
    ЛистМесяц.Names("AlphaYPrev").RefersToRange.Formula = "=" &
ЛистПредыдущийМесяц.Name & "!" & "AlphaY"
End If

```

```

Dim ТМесяц As ListObject
Set ТМесяц = ListObjectByPrefix(ЛистМесяц, "Месяц")
Dim ДнейВМесяце As Byte: ДнейВМесяце = Day(DateAdd("d", -1, DateAdd("m",
1, ПоследнийМесяц)))
For i = ДнейВМесяце + 2 To ТМесяц.ListColumns.Count
    ТМесяц.ListColumns(i).Range.Columns(1).Hidden = True
Next

```

```

Do While ТМесяц.ListRows.Count > 0
    ТМесяц.ListRows.Item(1).Delete
Loop

```

```

Dim ТРабочие As ListObject
Set ТРабочие = ActiveWorkbook.Worksheets("Рабочие").ListObjects("Рабочие")
For Each Рабочий In ТРабочие.ListRows
    Dim Row As ListRow: Set Row = ТМесяц.ListRows.Add
    Row.Range.Columns(ТМесяц.ListColumns("Рабочий").Index).Value =
Рабочий.Range.Columns(ТРабочие.ListColumns("ФИО").Index).Value
Next

```

```

Dim ТОбъем As ListObject
Set ТОбъем = ListObjectByPrefix(ЛистМесяц, "Объем")
If ТОбъем.ListRows.Count >= 6 Then
    ТОбъем.ListRows(1).Range.ClearContents
    ТОбъем.ListRows(5).Range.ClearContents
    ТОбъем.ListRows(6).Range.ClearContents

```

End If

ЛистМесяц.Activate

Finally:

If Err.Number <> 0 Then

MsgBox Err.Description

End If

Application.ScreenUpdating = True

If Not (ЛистМесяц Is Nothing) Then

ЛистМесяц.Protect

End If

End Sub

Public Function ListObjectByPrefix(ByRef Worksheet As Worksheet, ByVal ListObjectName As String)

For Each ListObject In Worksheet.ListObjects

If Left(ListObject.Name, Len(ListObjectName)) = ListObjectName Then

Set ListObjectByPrefix = ListObject

Exit For

End If

Next

End Function

### *Разряды*

Public Function ПереборРазрядов(Profession As String, s0 As String)

Dim s, t As String

Dim c As New Collection

Dim r As New Collection

Dim i As Integer

Dim L As ListObject: Set L = Worksheets("Рабочие").ListObjects("Рабочие")

Dim MinValue As String: MinValue =

WorksheetFunction.Max(L.ListColumns("Разряд").DataBodyRange)

Dim MaxValue As String: MaxValue =

WorksheetFunction.Min(L.ListColumns("Разряд").DataBodyRange)

' определяем минимальный и максимальный разряд для этой профессии

For j = 1 To L.ListRows.Count

If L.ListColumns("Профессия").DataBodyRange.Rows(j).Value = Profession

Then

If L.ListColumns("Разряд").DataBodyRange.Rows(j).Value < MinValue Then

MinValue = L.ListColumns("Разряд").DataBodyRange.Rows(j).Value

End If

If L.ListColumns("Разряд").DataBodyRange.Rows(j).Value > MaxValue Then

MaxValue = L.ListColumns("Разряд").DataBodyRange.Rows(j).Value

```

    End If
  End If
Next

c.Add s0, s0
i = 1

Do
  s = c(i)

  For j = Asc(MinValue) To Asc(MaxValue) - 1
    ' замена разряда R(n) большим R(n+1)
    t = Replace(s, Chr(j), Chr(j + 1), 1, 1)
    On Error Resume Next
    '? c.Add t, t
    On Error GoTo 0

    ' замена двух разрядов R(n) одним R(n+1)
    t = Replace(s, Chr(j) & Chr(j), Chr(j + 1), 1, 1)
    On Error Resume Next
    c.Add t, t
    On Error GoTo 0

    ' замена трех разрядов R(n) одним R(n+2)
    If j <= Asc(MaxValue) - 2 Then
      k = InStr(1, s, Chr(j) & Chr(j) & Chr(j))
      If k > 0 Then
        If k = 1 Then
          t = Replace(s, Chr(j) & Chr(j) & Chr(j), Chr(j + 2), 1, 1)
        ElseIf Mid(s, k - 1, 1) = Chr(j + 1) Then
          t = Replace(s, Chr(j) & Chr(j) & Chr(j), "", 1, 1)
          t = Replace(t, Chr(j + 1), Chr(j + 2) & Chr(j + 1), 1, 1)
        Else
          t = Replace(s, Chr(j) & Chr(j) & Chr(j), Chr(j + 2), 1, 1)
        End If
        On Error Resume Next
        c.Add t, t
        On Error GoTo 0
      End If
    End If
  Next

  i = i + 1
Loop Until i > c.Count

```

```

For Each v In c
    Dim Flag As Boolean: Flag = False
    Dim cc As Long: cc = 1
    For j = Asc(MaxValue) To Asc(MinValue) Step -1
        If Len(v) - Len(Replace(v, Chr(j), "")) >
WorksheetFunction.CountIfs(L.ListColumns("Профессия").DataBodyRange,
Profession, L.ListColumns("Разряд").DataBodyRange, Chr(j)) Then
            Flag = True
            Exit For
        Else
            cc = cc * WorksheetFunction.Combin( _
WorksheetFunction.CountIfs(L.ListColumns("Профессия").DataBodyRange,
Profession, L.ListColumns("Разряд").DataBodyRange, Chr(j)), _
            Len(v) - Len(Replace(v, Chr(j), "")) _
        )
        End If
    Next
    If Not Flag Then
        r.Add v, v
    End If
Next

Set ПереборРазрядов = r
End Function

```

### ***Расчет***

```

Private РазмерБригады As Integer
Private ОбъемБлижайший As Double
Private ОбъемПлановый As Double
Private СочетаниеБлижайшее() As Variant
Private ГруппыБлижайшие() As Variant
Private Счетчик As Long
Private МаксСчетчик As Long
Private Квалификация() As Double
Private AlphaX As Double
Private AlphaY As Double
Dim Сочетаний As Long

Sub КнопкаГрафик_Click()
    For i = 1 To 7
        ПланНаСледующийДень
    Next
End Sub

```

```

Sub ПланНаСледующийДень()
    AlphaX = ActiveSheet.Names("AlphaXPrev").RefersToRange.Value
    AlphaY = ActiveSheet.Names("AlphaYPrev").RefersToRange.Value

    Dim ТМесяц As ListObject
    Set ТМесяц = ListObjectByPrefix(ActiveSheet, "Месяц")

    ' находим первый справа незаполненный день
    Dim КЗавтра As ListColumn
    For i = ТМесяц.ListColumns.Count To 2 Step -1
        If Not (ТМесяц.ListColumns(i).DataBodyRange.Find("x") Is Nothing) Then
            If i + 1 <= ТМесяц.ListColumns.Count Then
                Set КЗавтра = ТМесяц.ListColumns(i + 1)
            Else
                Exit Sub
            End If
        End If
    Next

    If КЗавтра Is Nothing Then
        Set КЗавтра = ТМесяц.ListColumns(2)
    End If

    Dim ТОбъем As ListObject
    Set ТОбъем = ListObjectByPrefix(ActiveSheet, "Объем")
    ОбъемПлановый = ТОбъем.ListRows(1).Range.Columns(КЗавтра.Index - 1).Value
    If ОбъемПлановый <= 0 Then
        MsgBox "Не задан плановый объем на следующий день"
        Exit Sub
    End If

    Dim ТБригада As ListObject
    Set ТБригада =
ActiveSheet.Worksheets("Справочники").ListObjects("Бригада")
    Dim ТРабочие As ListObject
    Set ТРабочие = ActiveWorkbook.Worksheets("Рабочие").ListObjects("Рабочие")

    ReDim Квалификация(1 To ТРабочие.ListRows.Count)
    For i = 1 To ТРабочие.ListRows.Count
        Квалификация(i) =
ТРабочие.ListRows(i).Range.Columns(ТРабочие.ListColumns("ТК").Index).Value
    Next

```

```
Dim СуммаКвалификаций As Double: СуммаКвалификаций = 0
'Сочетаний = 1
```

```
' рабочие с фиксированным графиком
```

```
Dim РазмерБригадыФикс As Integer: РазмерБригадыФикс = 0
```

```
For Each Рабочий In ТРабочие.ListRows
```

```
    If Not
```

```
IsEmpty(Рабочий.Range.Columns(ТРабочие.ListColumns("ДатаНачала").Index))
Then
```

```
    Dim День As Long
```

```
    День = DateDiff("d",
```

```
Рабочий.Range.Columns(ТРабочие.ListColumns("ДатаНачала").Index),
```

```
DateAdd("d", КЗавтра.Index - 2,
```

```
ActiveSheet.Names("ПервыйДень").RefersToRange.Value)) _
```

```
    Mod (Рабочий.Range.Columns(ТРабочие.ListColumns("Работа").Index) +
Рабочий.Range.Columns(ТРабочие.ListColumns("Отдых").Index))
```

```
    If День < Рабочий.Range.Columns(ТРабочие.ListColumns("Работа").Index)
```

```
Then
```

```
    ТМесяц.ListRows(Рабочий.Index).Range.Columns(КЗавтра.Index) = "x"
```

```
    РазмерБригадыФикс = РазмерБригадыФикс + 1
```

```
    СуммаКвалификаций = СуммаКвалификаций +
```

```
Рабочий.Range.Columns(ТРабочие.ListColumns("ТК").Index)
```

```
    Else
```

```
    ТМесяц.ListRows(Рабочий.Index).Range.Columns(КЗавтра.Index) = "-"
```

```
    End If
```

```
End If
```

```
Next
```

```
Счетчик = 0
```

```
МаксСчетчик = 120000000
```

```
ОбъемБлижайший = 999
```

```
Dim ТРазряды As ListObject
```

```
Set ТРазряды =
```

```
ActiveWorkbook.Worksheets("Справочники").ListObjects("Разряды")
```

```
Dim Профессии() As String: ReDim Профессии(1 To ТРазряды.ListRows.Count)
```

```
Dim Разряды() As Collection: ReDim Разряды(1 To ТРазряды.ListRows.Count)
```

```
Dim Индексы() As Integer: ReDim Индексы(1 To ТРазряды.ListRows.Count)
```

```
For Each Строка In ТРазряды.ListRows
```

```
    Профессии(Строка.Index) =
```

```
Строка.Range.Columns(ТРазряды.ListColumns("Профессия").Index)
```

```
    Set Разряды(Строка.Index) = ПереборРазрядов(Профессии(Строка.Index),
```

```
Строка.Range.Columns(ТРазряды.ListColumns("Разряды").Index))
```

```
    Индексы(Строка.Index) = 1
```

Next

Dim Changed As Boolean: Changed = False

Do

' действие с текущей комбинацией

Dim Группы() As Variant: ReDim Группы(1 To 5 \* UBound(Профессии))

Dim Сочетания() As Variant: ReDim Сочетания(1 To 5 \* UBound(Профессии))

Dim НомерГруппы As Byte: НомерГруппы = 0

For i = LBound(Профессии) To UBound(Профессии)

For j = Asc(Right(Разряды(i).Item(Индексы(i)), 1)) To  
Asc(Left(Разряды(i).Item(Индексы(i)), 1))

Dim ПозцийРазряда As Integer: ПозцийРазряда =  
Len(Разряды(i).Item(Индексы(i))) - Len(Replace(Разряды(i).Item(Индексы(i)),  
Chr(j), ""))

If ПозцийРазряда > 0 Then

Dim Группа() As Byte: ReDim Группа(1 To ТРабочие.ListRows.Count)

Dim НомерВГруппе As Byte: НомерВГруппе = 0

' рабочие требуемых профессии и разряда с плавающим графиком

For Each Рабочий In ТРабочие.ListRows

If

Рабочий.Range.Columns(ТРабочие.ListColumns("Профессия").Index) =  
Профессии(i) \_

And

StrComp(Рабочий.Range.Columns(ТРабочие.ListColumns("Разряд").Index), Chr(j)) =  
0 \_

And

IsEmpty(Рабочий.Range.Columns(ТРабочие.ListColumns("ДатаНачала").Index)) \_  
Then

НомерВГруппе = НомерВГруппе + 1

Группа(НомерВГруппе) = Рабочий.Index

End If

Next

If НомерВГруппе > 0 Then

ReDim Preserve Группа(1 To НомерВГруппе)

НомерГруппы = НомерГруппы + 1

Группы(НомерГруппы) = Группа

Dim Сочетание() As Byte

If ПозцийРазряда <= НомерВГруппе Then

ReDim Сочетание(1 To ПозцийРазряда)

Else

ReDim Сочетание(1 To НомерВГруппе)



```

    End If
    Сочетания(НомерГруппы) = Сочетание

    'Сочетаний = Сочетаний *
WorksheetFunction.Combin(UBound(Группа), UBound(Сочетание))
    End If
    End If
    Next
Next

If НомерГруппы = 0 Then
    Exit Sub
End If

ReDim Preserve Группы(1 To НомерГруппы)
ReDim Preserve Сочетания(1 To НомерГруппы)

РазмерБригады = РазмерБригадыФикс
For i = 1 To UBound(Сочетания)
    РазмерБригады = РазмерБригады + UBound(Сочетания(i))
Next

ВложенныйПереборГрупп Группы, Сочетания, 1, СуммаКвалификаций
If Счетчик > МаксСчетчик Then
    MsgBox "Перебор остановлен из-за достижения максимального
разрешенного количества вариантов"
    Exit Do
End If

' следующая комбинация
Changed = False
For i = UBound(Индексы) To LBound(Индексы) Step -1
    If Индексы(i) < Разряды(i).Count Then
        Changed = True
        Индексы(i) = Индексы(i) + 1
        For j = i + 1 To UBound(Индексы)
            Индексы(j) = 1
        Next
    Exit For
End If
Next
Loop While Changed

Application.StatusBar = ""

```

```

If ОбъемБлижайший = 0 Then
    MsgBox "Никакие варианты не найдены"
    Exit Sub
End If

```

```

On Error GoTo Finally
Application.ScreenUpdating = False
Application.Interactive = False
ActiveSheet.Unprotect
On Error GoTo 0

```

```

For i = 1 To UBound(СочетаниеБлижайшее)
    For j = 1 To UBound(СочетаниеБлижайшее(i))

```

```

ТМесц.ListRows(ГруппыБлижайшие(i)(СочетаниеБлижайшее(i)(j))).Range.Columns(КЗавтра.Index) = "п"
        Next
    Next

```

Finally:

```

Application.Interactive = True
If Err.Number <> 0 Then
    MsgBox Err.Description & vbCrLf & Err.Source
End If
Application.ScreenUpdating = True
ActiveSheet.Protect

```

End Sub

```

Sub ВложенныйПереборГрупп(ByRef Группы() As Variant, ByRef Сочетания() As Variant, НомерГруппы As Byte, СуммаКвалификаций As Double)

```

```

    If Счетчик > МаксСчетчик Then
        Exit Sub
    End If

```

```

    НачальноеСочетание Сочетания(НомерГруппы)
    Do

```

```

        Dim СуммаКвалификацийГруппы As Double: СуммаКвалификацийГруппы = 0

```

```

        For j = 1 To UBound(Сочетания(НомерГруппы))
            СуммаКвалификацийГруппы = СуммаКвалификацийГруппы +
Квалификация(Группы(НомерГруппы)(Сочетания(НомерГруппы)(j)))
        Next

```

```

    If НомерГруппы < UBound(Группы) Then

```

ВложенныйПереборГрупп Группы, Сочетания, НомерГруппы + 1,  
СуммаКвалификаций + СуммаКвалификацийГруппы

Else

Dim Объем As Double: Объем = Round(РазмерБригады ^ AlphaX \*  
((СуммаКвалификаций + СуммаКвалификацийГруппы) / РазмерБригады) ^  
AlphaY, 1)

If Abs(ОбъемПлановый - Объем) < Abs(ОбъемПлановый -  
ОбъемБлижайший) Then

ОбъемБлижайший = Объем

СочетаниеБлижайшее = Сочетания

ГруппыБлижайшие = Группы

End If

Счетчик = Счетчик + 1

If Счетчик Mod 100000 = 0 Then

'Application.StatusBar = Trim(Str(100 \* Round(Счетчик / Сочетаний, 2))) &  
"% "

Application.StatusBar = Trim(Str(Счетчик))

DoEvents

End If

End If

Loop While СледующееСочетание(Сочетания(НомерГруппы),  
UBound(Группы(НомерГруппы)))  
End Sub

### ***Сочетания***

Public Sub НачальноеСочетание(ByRef a As Variant)

For i = 1 To UBound(a)

a(i) = i

Next

End Sub

Public Function СледующееСочетание(ByRef a As Variant, ByVal n As Byte)

Dim k As Byte

k = UBound(a)

For i = k To 1 Step -1

If a(i) < n - k + i Then

For j = k To i Step -1

a(j) = a(i) + j - i + 1

Next

СледующееСочетание = True

Exit Function

```
End If  
Next
```

```
СледующееСочетание = False  
End Function
```

```
Sub ПечатьМассива(a)  
Dim s As String  
For i = LBound(a) To UBound(a)  
    s = s & Trim(Str(a(i))) & " "  
Next  
Debug.Print s  
End Sub
```

## ПРИЛОЖЕНИЕ Е



Общество с ограниченной ответственностью  
Строительная компания «ЭТС»  
ООО СК «ЭТС»

196084, Россия, г. Санкт-Петербург, Лиговский пр., д. 270 литер 3, пом. 3-Н, +7 (812) 670-11-00, info@ets-gr.ru  
ОКПО 82242796, ОГРН 1077847664410, ИНН/КПП 7805443978/781001001, р/с 40702810335000004470

от 26.05.2015 г. № OVP-0631

## Акт о внедрении

Данным актом подтверждается внедрение результатов диссертационной работы Романович Марины Александровны по теме, связанной с повышением организационно-технологической надежности строительства, а именно – применение программы-макроса при календарном планировании на следующих объектах:

1. Строительство «Аутлет «Пулково», г.Санкт-Петербург, пос.Шушары, территория предприятия «Шушары», участок 500.
2. Реконструкция Военно-медицинской академии, г.Санкт-Петербург, ул. Лебедева 6.

Состав внедренных разработок: программа-макрос на базе EXCEL, относительная выработка рабочего, функция выработки, позволяющая подбирать рабочих по количеству, образованию, разряду, стажу работы в соответствии с заданным к выполнению объемом работ, принцип установления допустимых отклонений в объемах выполненных работ на основании функции оптимизированных объемов работ. Границы допустимых отклонений и корректирующие коэффициенты задавались организацией самостоятельно. В соответствии с пожеланиями организации были внесены некоторые изменения в программу, в частности, особый график работы бригад и периодичность отдельных видов работ.

Программа-макрос удобна в использовании при вводе данных и анализе полученных результатов, может быть установлена на любом рабочем месте, автоматические расчеты происходят достаточно быстро.

Генеральный директор ООО СК «ЭТС»



М.В. Зов А.В.

## ПРИЛОЖЕНИЕ Ж



Закрытое акционерное общество «ЛенСпецСМУ-Реконструкция», 197348, г. Санкт-Петербург, Богатырский пр., 2, литер А  
тел.: +7 (812)348-40-91, факс: +7(812)348-40-26, e-mail: lenrek@mail.ru

01.06.2015

## АКТ

**Внедрения (использования) результатов кандидатской диссертационной работы Романович Марины Александровны, связанных с разработкой методики прогнозирования и управления производственным процессом на основе математического моделирования объемов работ.**

Основные принципы прогнозирования и управления производственным процессом, изложенные в работе, были внедрены на объектах «Царская Столица» 3-я очередь участки 9 и 13.

Внедрена методика подхода к оценке квалификации рабочих с помощью количественной оценки их навыков, знаний и потенциальных возможностей. Расчет производился на основе персональных данных о 107 рабочих. В результате расчета составлен рейтинг рабочих. Использование единого подхода к оценке квалификации рабочих с помощью количественной оценки, является ценной практической методикой, которая позволяет дать полную информацию о каждом сотруднике в коллективе и его потенциальных возможностях, а также позволит администрации компании пересмотреть подходы к материальному стимулированию своих сотрудников.

В организации была применена программа-макрос, позволяющая подбирать рабочий персонал в зависимости от поставленных задач по выполнению работ, что позволило минимизировать простои рабочих на 8%. Разработанная программа позволяет учитывать и объемы работ, и количество людей, и их квалификацию. Рассчитываемые программой варианты комбинаций рабочего состава будут бесспорным ориентиром для организации при дальнейшем планировании работ.

Особый интерес представляет анализ изменений, происходящих в производственном процессе, с помощью методик Фурье анализа и вейвлет-анализа. Однако, широкое применения данного аналитического аппарата в организации не представляется возможным, в связи с отсутствием необходимого программного обеспечения.

Начальник участка

