

А.Х. Дадар, С.А. Болотин

**МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА РАСПИСАНИЙ РАБОТ
ПРИ АКТУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕПОЛНОТЫ
СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

Кызыл
2020

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Тувинский государственный университет

А. Х. Дадар, С. А. Болотин

**МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА РАСПИСАНИЙ РАБОТ
ПРИ АКТУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕПОЛНОТЫ
СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

Монография

Рекомендовано Новосибирским региональным отделением ФУМО в системе высшего образования по укрупненным группам специальностей и направлений подготовки 08.00.00 Техника и технология строительства в качестве учебника для студентов и магистров, обучающихся по направлению «Строительство»

КЫЗЫЛ
2020

УДК 658.26
ББК 65441.353
Д 14

Печатается по решению научно-технического совета
ФГБОУ ВО «Тувинский государственный университет»

Рецензенты:

Кара-Сал Борис Комбуй-оолович, д.т.н. проф.
Кунц Константин Леонтьевич, к.т.н., проф.

Авторский коллектив: кандидат технических наук, доцент А. Х. Дадар, доктор технических наук, профессор С. А. Болотин

Дадар А. Х., Болотин С. А.

Методология расчета расписаний работ при актуализации информационной неполноты системы организации строительства: монография / А.Х. Дадар, С. А. Болотин. – Кызыл, 2020. – 140 с.

ISBN 978-5-91178-168-2

Предлагаемая монография ориентирована на решение проблемы информационной неполноты возникающей в системе календарного планирования строительного производства, определяющей неконтролируемую погрешность календарного графика строительства, что в свою очередь приводит к возникновению неоправданных рисков несвоевременного выполнения работ.

Книга предназначена для студентов и магистров направления подготовки 08.00.00 «Строительство», 38.00.00 «Экономика и управление», а также студентам других направлений подготовки при изучении соответствующих курсов.

Ил. 32. Табл. 23. Библиогр.: 134 назв.

ISBN 978-5-91178-168-2

© А. Х. Дадар, С.А. Болотин 2020
© Тувинский государственный университет, 2020

Содержание

Введение	5
1 глава. Актуальность учета информационной неполноты в системе планировании и организации строительного производства	8
1.1 Анализ причин и факторов возникновения информационной неполноты в системе организации строительного производства	8
1.1.1 Календарное планирование в системе строительного производства	8
1.1.2 Вариация уровня организационно-технологической надежности строительного производства в условиях информационной неполноты его описания	10
1.1.3 Общие причины, приводящие к возникновению рисков несвоевременного выполнения работ	11
1.1.4 Влияние принятия гипотезы о равномерном выполнении работ на задержку окончания	14
1.1.5 Учет ресурсного профиля работы как эффективный инструмент более точного предсказания ее окончания	14
1.2 Снижение эффективности планирования и управления строительным производством в условиях дефицита и недостоверности информации	16
1.2.1 Увеличение продолжительности строительства	16
1.2.2 Удорожание строительства за счет роста непредвиденных затрат	18
1.2.3 Ухудшение технико-экономических показателей, оценивающих эффективность реализации строительных проектов	19
1.3 Методы мониторинга, определяющие состояние системы строительного производства	21
1.3.1 Пример постановки практического мониторинга выполняемых работ	21
1.3.2 Сложность анализа расхождения актуализированных календарных графиков работ и их плановых моделей	23
1.3.3 Система учета выполняемых работ в программах управления проектами	24
1.3.4 Основы BIM-моделирования жизненного цикла объекта строительства	24
1.3.5 Программная реализация мониторинга, основанного на BIM-технологии	26
1.3.6 Нормативная система исполнительной документации выполняемых работ	27
Выводы по 1 главе	28
2 глава. Экспертные оценки как субъективный источник недостоверной информации, определяющий погрешности планирования и оценки расписаний работ	29
2.1 Задачи прогноза, основанные на экспертных оценках параметров системы строительного производства	29
2.1.1. Индексная модель прогноза окончания строительства, связанная с субъективно определенными параметрами	29
2.1.2. Метод критической цепи	30
2.1.3. Постановка задачи прогноза, основанного на адаптации к модели «о гибели и размножении»	35
2.1.4. Верификация прогноза, основанного на модели «о гибели и размножении»	38
2.2 Модель оценки погрешностей при экспертной оценке значимостей методов прогноза	41
2.2.1. Модель стохастической квалитметрии	41
2.2.2. Определение диапазона изменения усредненной оценки методом линейного программирования	43
2.2.3. Выбор оптимальной шкалы при парном сравнении значимостей методов прогноза	44
2.2.4. Пример экспертной оценки объектов для включения их в адресную программу капитального ремонта	46
Выводы по 2 главе	51
3 глава. Расчет расписаний строительных работ на основе статистического моделирования	52
3.1 Устойчивость запланированной топологии производства работ	52
3.1.1. Метод GERT и альтернативные сетевые модели	52
3.1.2. Сложность практического учета изменения топологии работ	53
3.1.3. Устойчивость методов поточной организации работ	55
3.2 Функции распределения случайных продолжительностей работ	57
3.2.1. Общие положения по вероятностным сетевым моделям в строительстве	57
3.2.2. Метод PERT и его реализация в программах управления проектами	58
3.2.3. Учет качества управления в описании случайных продолжительностей работ	59
3.2.4. Учет качества управления в методе критической цепи	62

3.3	Метод пространственно временной аналогии в расчете пессимистических продолжительностей работ	64
3.3.1.	Теоретические основы метода пространственно-временной аналогии	64
3.3.2.	Определение горизонта планирования на основе использования нормы дисконта.....	67
3.3.3.	Примеры статистического моделирования календарных планов строительства при минимальных исходных данных	69
	Выводы по 3-й главе.....	77
4	глава. Методы прогнозирования продолжительности выполнения отдельных работ и строительства в целом	78
4.1	Регрессионный анализ.....	78
4.1.1	Прикладная задача прогноза на основе регрессионного анализа	78
4.1.2	Проблема нелинейности расписаний работ.....	78
4.2	Искусственные нейронные сети	80
4.2.1	Прикладная задача прогноза на основе нейросетевого моделирования.....	80
4.2.2	Особенности нейросетевой модели прогноза продолжительности строительства и отдельных работ	81
4.2.3	Экспериментальное сравнение нейросетевой и регрессионной моделей.....	83
4.3	Энтропийный подход в расчете прогноза строительства.....	84
4.3.1	Энтропийная оценка расхождения планируемого и фактического расписаний работ	84
4.3.2	Оптимизационное перераспределение управленческих затрат в целях достижения своевременности выполнения работ	89
4.3.3	Прогнозирование продолжительности строительства на основе энтропийного показателя	93
4.4	Прогноз на основе экстраполяции выполненных объемов работ	97
4.4.1	Прогнозирование сроков строительства на основе модели линейной экстраполяции выполненных работ	97
4.4.2	Прогнозирование сроков строительства на основе модели нелинейной экстраполяции выполненных работ	98
	Выводы по 4-й главе.....	99
Глава 5.	Методы планирования расписаний работ, основанные на нормативной статистике..	100
5.1	Статистическое моделирование поточной застройки градостроительных комплексов на основе нормативной статистики	100
5.1.1	Нормативная статистика в организации строительства.....	100
5.1.2	Основные алгоритмы расчета поточной организации работ	103
5.1.3	Статистическое моделирование календарных графиков застройки градостроительных комплексов	105
5.1.4	Система прогнозных моделей в программе Microsoft Project	108
5.2	Анализ чувствительности планируемых показателей строительства в программе Project Expert	110
5.2.1	Общее описание программы управления проектами Project Expert	110
5.2.2	Анализ чувствительности технико-экономических показателей	112
5.2.3	Пример формирования массива исходных данных в программе Project Expert.....	113
5.2.4	Особенности реализации анализа чувствительности оценочных показателей в программе Project Expert	114
	Выводы по 5 главе	116
	Заключение	117
	Список литературы	119
	Приложение А. Программа-макрос расчета прогноза окончания строительства методом линейной регрессии и нейросетевого моделирования	125
	Приложение Б. Программа-макрос расчета прогноза окончания строительства методами экстраполяции.....	131

Введение

В современной строительной практике используется достаточно большой арсенал методов расчета расписаний строительных работ. Согласно принятой в научной литературе классификации, данные методы разделяются на детерминированные [1, 2], вероятностные [3] и стохастические [4]. Вместе с этим методы расчета календарных графиков строительства также ориентированы на поточную [5] и сетевую [6] организации работ, в том числе на обобщенную и альтернативную топологии расписаний работ [7, 8]. А если учесть, что специфика строительства связана с многообразием организационно-технологических связей [9], то к этому следует добавить многочисленные комбинации из работ, выполняемых параллельно и последовательно. Однако полный учет всех многочисленных параметров строительного производства не возможен в принципе, так как система строительного производства обладает информационной сложностью, которая достаточно наглядно классифицирована данным признаком, определенным в работе [10].

В некоторых науках для преодоления информационной сложности разработаны и достаточно успешно существуют свои специфические подходы. Так, например, в термодинамике информационную сложность, связанную с взаимодействием отдельных молекул, преодолели за счет введения статистически усредненных величин, таких как давление и температура [11]. При этом усреднение этих физических величин определяется достаточно большим массивом микрообъектов, объем которых соизмерим с числом Авогадро ($N_A \approx 6 \cdot 10^{23}$ 1/моль). Однако для системы строительного производства такой подход не приемлем, так как в строительной отрасли оперируют с подавляюще меньшим числом объектов, количество которых может определяться единицами, а может и вообще быть нулевым (например, в строительных работах участвует вновь созданная организация, по которой еще не сгенерированы статистические данные). Таким образом, можно утверждать, что для системы строительного производства характерным состоянием является информационная неполнота.

В научном арсенале для статистического описания малых (нерепрезентативных) выборок выделено специальное направление, получившее название непараметрической статистики [12]. Однако применительно к строительству общей методологии расчета расписаний строительных работ, основанной на теоретических положениях непараметрической статистики не разработано. В результате имеет место вполне типичная ситуация, для которой характерно проведение расчета расписаний строительных работ, либо при частичном отсутствии репрезентативных статистических данных для одних параметров строительного производства, либо при их полном отсутствии для других параметров. Например, можно задать вполне законным вопросом, а почему в методе *PERT* используют именно бета-распределение и как для него определить неизвестные параметры, к которым, как известно, относятся оптимистическая, пессимистическая и наиболее вероятностная продолжительности работ? Типичный ответ, на постановку подобного рода вопроса, сводится к ссылке на некоторое экспертное заключение. Но тогда правомерен дополнительный вопрос о погрешности такого заключения. Поэтому, на наш взгляд, можно констатировать, что при расчете расписаний работ наиболее типичной ситуацией является информационная неполнота в описании системы строительного производства.

Общая логика эффективного использования реальных информационных процессов такова, что сначала информационную неполноту необходимо выявить, то есть актуализировать, и только потом разработать соответствующий алгоритм расчета расписания работ. При этом правомерно следующее утверждение: априори невозможно установить число алгоритмов подобного рода. Поэтому выбор названия предлагаемого исследования определен как методология (здесь термин методология определен нами как объединение различных методов) расчета расписаний работ при актуализации информационной неполноты в описании системы организации строительства.

В первой главе данного исследования представлен анализ причин и факторов возникновения информационной неполноты в описании системы организации строительного производства. При этом определены как общие факторы, приводящие к возникновению рисков несвоевременного выполнения работ, так и достаточно специфические факторы. К последним относятся принятие гипотезы о равномерности выполнения работ и не учёт ресурсных профилей. Далее в исследовании показано, как эти причины приводят к снижению эффективности планирования и управления строительным производством. Третьим вопросом первой главы является описание методов мониторинга, определяющих состояние системы строительного производства.

Вторая глава монографии посвящена детальному рассмотрению такого субъективного источника недостоверной информации, каким является экспертное оценивание параметров организации строительного производства. При этом детализация источника неполной информации

рассмотрена на основе анализа трех задач прогнозирования окончания строительства, основанных на использовании индексного метода, модели «гибели и размножения» и метода критической цепи. Далее, также детально, во второй главе представлена модель расчета погрешностей при экспертной оценке значимостей оцениваемых характеристик в системе строительного производства.

В третьей главе рассмотрены общие и специальные вопросы, связанные с расчетом расписаний строительных работ на основе статистического моделирования. Поскольку важным элементом данных расчетов является принятие организационно-технологической схемы организации строительных работ, то в начале этой главы рассмотрен вопрос, связанный с устойчивостью запланированной топологии производства работ. Следующим в технологической последовательности применения вероятностного расчета строительного расписания рассмотрено использование различных функций распределения случайных продолжительностей работ. При этом основной акцент сделан не на формальный перебор известных статистических функций распределения случайных величин, а на их конструктивное обоснование. Завершает материал третьей главы описание метода пространственно-временной аналогии, который может служить основой для расчетного обоснования пессимистических продолжительностей работ при отсутствии репрезентативных статистических данных.

В четвертой главе рассмотрены наиболее современные и актуальные методы прогнозирования продолжительностей выполнения отдельных работ и строительства в целом. В частности, рассмотрены в определенном отношении близкие методы, основанные на регрессионном анализе и искусственных нейронных сетях. Далее представлены методы прогноза продолжительности строительства, связанные с линейной и нелинейной экстраполяцией выполненных объемов работ, и в конце четвертой главы для расчета прогноза окончания строительства рассмотрен новый подход, связанный с измерением энтропии исполнительных календарных графиков. Данный метод использует «физическую» аналогию, связанную с имеющими место неопределенностями в системе управления строительством.

Как уже было отмечено, информационная неполнота описания связана либо с недостаточной репрезентативностью имеющейся статистики, либо с ее полным отсутствием. Поэтому в заключительной главе рассмотрены методы планирования расписаний работ, основанные на нормативной статистике, то есть такой статистике, которая представлена в официальных (нормативных) документах. И первым рассмотрено статистическое моделирование поточной застройки градостроительных комплексов, имеющих достаточно большой социальный потенциал. Далее в заключительной главе представлен материал, связанный с применением современного инструментария по календарному планированию строительства. В частности, рассмотрено прогнозирование окончания строительства градостроительных комплексов в программе *Microsoft Project* и анализ чувствительности планируемых показателей строительства в программе *Project Expert*.

Следует отметить, что в целом представленный материал, не ориентирован на полную историографию поставленной проблемы. Его цель другая: показать те «белые» пятна в постановке задач календарного планирования, которые связаны с неполнотой или недостоверностью исходной информации, а также представить те новые алгоритмы и подходы, с помощью которых можно адекватно решить эти практически важные задачи. Именно с подобного рода обстоятельством как раз и связано использование нормативной статистики.

Совсем недавно в качестве нормативного источника, заменяющего разработанный в 1985 году СНиП по нормам продолжительности строительства, был выпущен, казалось бы, его современный аналог [13]. Однако описание объектов в данном нормативе оказалось настолько подробным, что возникла проблема соотнесения интересующего объекта к тому объекту, который представлен в нормативе. Действительно, если в нормативе в качестве объекта жилищного строительства представлен панельное здание, возведенное на свайном фундаменте и имеющее общую площадь 4649 м², то как соотнести продолжительность строительства панельного здания площадью 5020 м², воздвигаемого на ленточном фундаменте? В этом отношении в «старом» СНиПе [14] проблем с определением нормы продолжительности строительства для подобного примеров не существовало, так как в него были включены только основные характеристики объектов (без мешающих излишеств), а именно: материал стен, этажность и общая площадь. При этом во вступительной части представлен соответствующий интерполяционный алгоритм. Для наших целей это дает то, что на основе нормативной статистики возможно проведение статистического моделирования и анализа чувствительности технико-экономических показателей строительства при организации поточной застройки градостроительных комплексов. Данный раздел монографии ориентирован на две наиболее

широко используемые компьютерные программы управления проектами *Microsoft Project* и *Project Expert*.

В конечном итоге представленная к прочтению и изучению монография ориентирована на **решение проблемы** информационной неполноты возникающей в системе календарного планирования строительного производства, определяющей неконтролируемую погрешность календарного графика строительства, что в свою очередь приводит к возникновению неоправданных рисков несвоевременного выполнения работ.

Рабочая гипотеза настоящего исследования заключается в том, что объективный учет информационной неполноты в описании системы строительного производства дает возможность более эффективной адаптации существующих методов календарного планирования и ориентирует на разработку новых методов расчета и оптимизации календарных графиков строительства, учитывающих реальные информационные параметры моделируемого строительного производства.

Научная новизна исследования заключается в установлении зависимости риска несвоевременного выполнения работ от недоучета информационной неполноты модели календарного планирования, используемой при описании системы строительного производства и в разработке такой методологии календарного планирования, которая адекватно ориентирована на реальную информационную неполноту описания системы строительного производства.

Практическая значимость исследования заключается в разработке новых алгоритмов и программ расчета календарных графиков строительства, которые адекватно учитывают реальные информационные возможности описания системы календарного планирования строительного производства, используя инструментальные возможности программ управления проектами.

1 глава. Проблемы учета информационной неполноты системы планирования и организации строительного производства

1.1 Анализ причин и факторов возникновения информационной неполноты в системе организации строительного производства

1.1.1 Календарное планирование в системе строительного производства. Анализ процесса календарного планирования строительного производства показывает, что все так называемые общие функции управления строительным производством находят свое отражение в различных структурно-логических схемах, определяющих календарные планы (графики) строительства. Например, функция планирования может быть реализована в календарном плане в виде детерминированной или вероятностной модели, а само расписание строительных работ может строиться на принципах как поточного строительства, так и сетевого моделирования. Такое разнообразие организационных и структурно-технологических схем строительства порождает необходимость введения в процесс календарного планирования процедуры, определяющей выбор варианта разрабатываемого календарного плана. При этом следует учитывать то, что процедура выбора календарного плана строительства органически связана с процедурой его оценки.

Далее, при реализации выбранной модели требуется ее постоянная актуализация, заключающаяся в фиксировании фактически выполненных (то есть актуальных) работ, определяемых на выбранные моменты времени, что порождает актуальный календарный график, который также требует оценки, отражающей эффективность организации процесса строительного производства. В итоге процесс календарного планирования строительства дополняется функцией контроля. В дальнейшем, по результатам фактического выполнения работ, или по результатам вариантного планирования работ, имеет место процедура прогноза будущего состояния объекта, на основании которого принимается управленческое решение по соответствующему регулирующему воздействию на объект управления.

При этом регулирование строительного производства осуществляется не только посредством планирования новых сроков выполнения работ, но и посредством организации ресурсного обеспечения выполняемых работ, которое определяется такой общей функцией как организация. В итоге можно считать, что процесс календарного планирования непосредственно сопряжен со следующими общими функциями управления строительным производством.

- Планированием, определяющим сроки выполнения работ.
- Организацией, определяющей ресурсное обеспечение процесса реализации строительного производства.
- Контролем и оценкой хода строительства, определяющих достижение целей планирования.
- Прогнозированием, определяющим будущее состояние строительства.
- Регулированием хода строительства, которое итерационно возвращает разработчика календарного плана к выполнению предыдущих функций.

Все выше перечисленные общие функции управления реализованы в программах управления проектами, и они достаточно подробно описаны и представлены в различных научных и методических работах, например в [15, 16]. Однако при этом следует обратить внимание на то, что программы управления проектами являются лишь инструментарием календарного планирования, который по-разному может быть использован в различных технологиях календарного планирования.

Современное календарное планирование представляет собой динамично развивающуюся систему, использующую различные подходы в технологии планирования строительного производства. Поэтому требуется постоянное совершенствование классификационного описания этой системы.

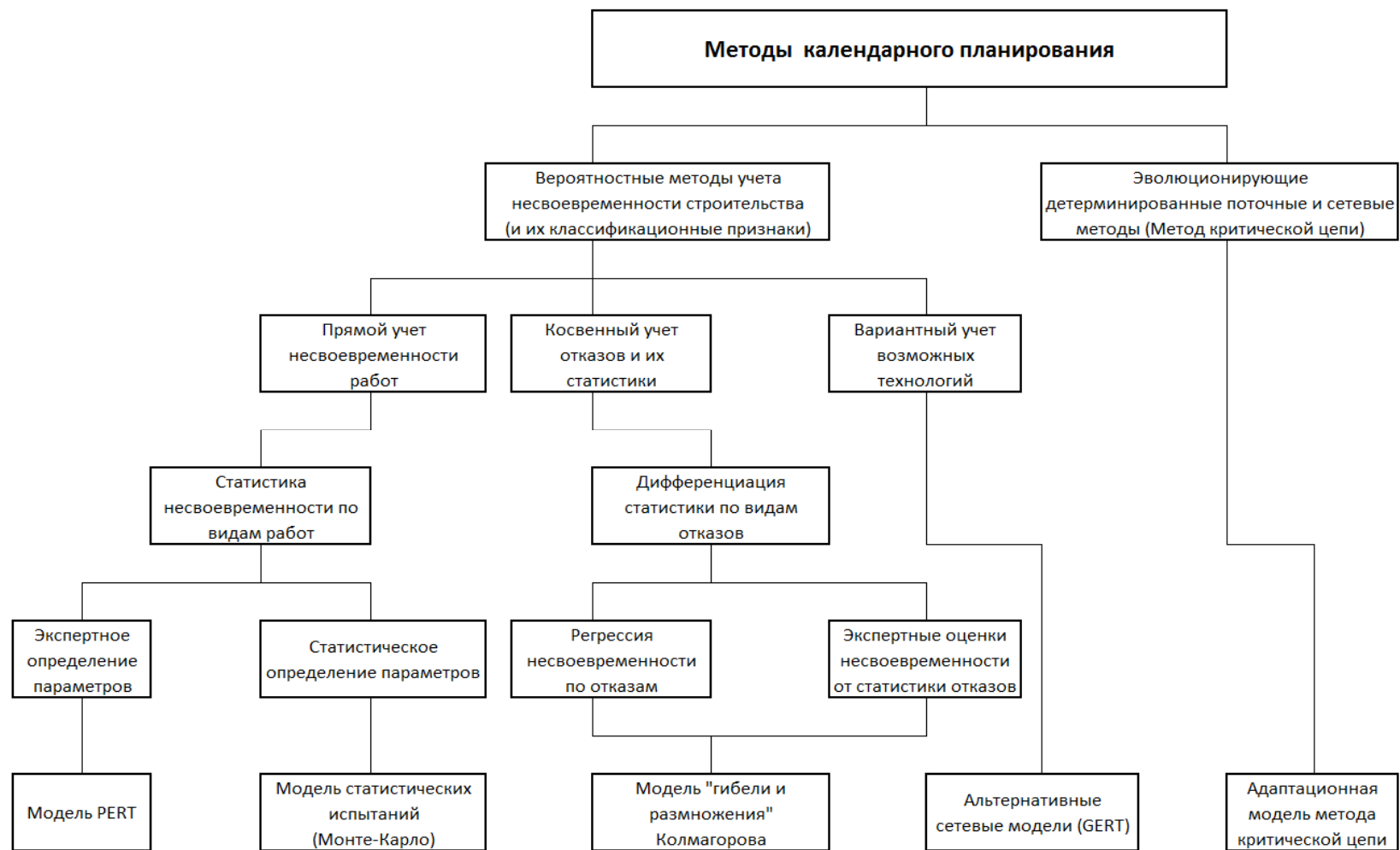


Рисунок 1.1 – Классификационная схема моделей для учета и прогнозирования несвоевременности строительства

Представленная на рисунке 1.1 классификационная схема прежде всего ориентирована на соответствующее классификационное объединение различных способов календарного планирования строительного производства, доминантой которых является учет и регулирование своевременности выполнения работ. На представленной схеме методы календарного планирования условно разделены на две категории. В первую категорию вошли все методы, которые изначально были ориентированы на вероятностное моделирование строительного производства. Во вторую категорию вошли методы, которые изначально являлись детерминированными, но имели или имеют возможность эволюционировать в сторону вероятностных моделей. Например в категорию эволюционных методов помещена модель, реализующая метод критической цепи. Методы первой категории можно разделить по признаку, определяющему вид учета причин, приводящих к несвоевременности завершения строительства. Так, например, вариантный учет возможных технологий при планировании строительного производства приводит к использованию альтернативных сетевых моделей. При учете несвоевременности выполнения работ может иметь место прямой учет вероятностных длительностей работ или косвенный учет отказов системы строительного производства, которые приводят к несвоевременности строительства. При этом прямой учет порождает статистику запаздываний работ, а косвенный учет порождает статистику отказов различных видов.

Последующая дифференциация методов учета несвоевременности связана со способами ее оценки, которые в свою очередь дифференцируются с точки зрения физического измерения и экспертной оценки продолжительностей работ, а также счетного определения и классификации отказов. Однако, поскольку отказы лишь косвенно определяют несвоевременность, то для перевода их в непосредственные величины запаздываний возможно использование соответствующих регрессионных способов.

В результате последний уровень иерархического разделения методов календарного планирования распределяется между известными и инновационными моделями. К известным моделям относится метод *PERT* [17, 18], модель *GERT*, описанная в ранее цитированной монографии [8], а также модель статистических испытаний [19]. К инновационным моделям относятся адаптация модели «гибели и размножения» Колмогорова [20] и адаптационная модель метода критической цепи [21]. Очевидно, что по мере эволюции данная классификационная схема может дополняться новыми методами и моделями календарного планирования строительного производства.

Однако, несмотря на динамическое развитие методов календарного планирования, имеется постоянная составляющая этого процесса, заключающаяся в информационной неполноте постоянно меняющейся системы строительного производства. Поэтому для научного совершенствования и практического выбора наиболее совершенной методики календарного планирования строительства требуется обоснование наиболее адекватной модели прогноза продолжительности строительства зданий и сооружений, определяющей эффективность управления строительством.

1.1.2 Вариации уровня организационно-технологической надежности строительного производства в условиях информационной неполноты его описания. В определенной степени информационная неполнота в описании организации строительства является объективным фактором, так как существуют такие параметры строительного производства, которые невозможно предвидеть в процессе планирования. Например, различного рода форс-мажорные обстоятельства, связанные с погодными катаклизмами, авариями, банкротством контрагентов строительства и др. Но, с другой стороны, и по аналогичному основанию, информационная неполнота может быть определена и как субъективный фактор. Например, погоня за дешевой рабочей силой приводит к тому, что строительные работы необходимо постоянно переделывать, что приводит к их низкому качеству, удорожанию и к несвоевременному окончанию строительства. Поэтому-то организационно-технологическая надежность строительного производства может и должна определяться вероятностью его качественного выполнения в заданные сроки и по заранее согласованной цене. При использовании вероятностной метрики в оценке организационно-технологической надежности положительным считается стремление вероятности к единице. Именно такого (вероятностного) определения организационно-технологической надежности придерживался проф. А.А.Гусаков, труды которого являются основополагающими для данного направления в отечественной науке строительного производства [22].

Однако, несмотря на заметный прогресс в области современной организации строительства, часто наблюдаются факты, связанные как с задержкой выполнения отдельных работ, так и с общим запаздыванием строительства [4]. В научной литературе описываются причины возникновения таких фактов [6] и методы, количественно определяющие штрафные санкции [23, 24]. Но даже введение в управление проектами штрафов и пени бывает явно не достаточным для эффективного решения

вопроса, связанного с планированием задержек работ, особенно при использовании методов оптимизационного планирования, осуществляемых в соответствии с детерминированными продолжительностями [25, 26]. Сложившееся положение накладывает на стадию планирования необходимость использования вероятностных методов планирования, в том числе метода *PERT*, который широко используется в таких компьютерных программах управления проектами как *Microsoft Project* [15].

В научно-методическом плане, с целью анализа и учета случайных продолжительностей работ предлагаются различные подходы, основанные на применении методов стохастического моделирования, которые достаточно обстоятельно описаны в научных изданиях, например в монографии [19]. В этой монографии автор, ссылаясь на анализ большого количества статистических данных, подтверждает возможность использования бета распределения в качестве априорного. Известно, что в описания различных видов бета распределений обязательно входят два основных параметра – это оптимистическая и пессимистическая продолжительности работ. Но при этом считается, что соответствующие оценки продолжительностей работ должны задаваться теми лицами, которые являются ответственными за их исполнение.

Имеется также ряд научных публикаций посвященных совершенствованию метода *PERT*. Например, в научной статье [17] приведен анализ метода *PERT*, который используется для решения задач сетевого планирования и управления, и обоснована необходимость его модификации, а также предложен один из вариантов оценки длительности работ. В научной статье [18] приведен анализ точности метода *PERT*, позволяющий оценить длительности выполнения отдельных операций в задачах управления проектами на основании вычислительных экспериментов.

Таким образом, считается, что основные параметры распределения длительностей работ должны быть определены либо статистически, либо экспертно. Однако на практике не исключена ситуация, когда статистические данные могут отсутствовать, а экспертные оценки могут быть настолько противоречивы, что их использование не представляется возможным. Поэтому для подобного рода ситуаций вполне понятно, что организационно-технологическая надежность снижается, но как ее оценить зачастую остается «белым пятном». И это, на наш взгляд, связано с не учетом информационной неполноты описания реальной системы строительного производства.

1.1.3 Причины, приводящие к возникновению рисков несвоевременного выполнения работ.

Причинами, приводящими к несвоевременному выполнению работ, могут быть как одиночные, так и группы негативных факторов, влияющих на объекты строительства. По заключению авторов работы [20] на рост их количества прямо влияют уникальные конструктивные особенности зданий и требуемые для возведения строительного объекта уникальные технологии возведения зданий и сооружений, которые могут быть представлены в виде классификационной схемы, изображенной на рисунке 1.2.

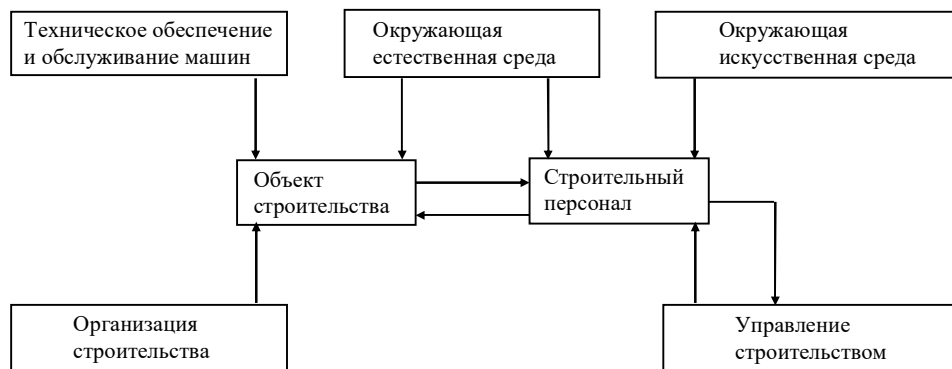


Рисунок 1.2 Взаимодействие групп негативных факторов

Для проведения анализа рассматриваются либо проявления одиночных факторов какой-либо группы либо сложные сочетания одновременных и/или последовательных событий разных групп, которые вызывают взаимоисключающие, зависимые, каскадные последовательности. Основной количественной характеристикой проявления негативных факторов является частота или интенсивность появления соответствующих событий. Поэтому оценить влияние на функционирование системы строительного производства отдельных негативных факторов возможно с помощью частных относительных статистических критериев [20].

Одним из вариантов теоретического описания вероятностной модели функционирования системы строительного производства (ССП) является рассмотрение его как случайного процесса [25], который происходит в течение продолжительности строительства. Случайный процесс, который происходит в принятой к рассмотрению ССП, представляет собой случайные переходы этой системы из одного состояния в другое состояние. Реализацией случайного процесса является неслучайная функция $p(t)$, в которую переходит случайный процесс на некотором интервале времени от 0 до t [27]. Состояние ССП в некоторый момент времени характеризуется при помощи одной или нескольких переменных величин. Основной характеристикой случайного процесса являются многомерные распределения вероятностей многочисленных состояний системы, для которых рассматриваются значения фиксированных моментов или интервалов времени. Такой метод исследований случайных процессов связан с обработкой значительного массива информации и приводит к сложным и трудоемким вычислениям. Поэтому для упрощения анализа поведения ССП выделяется частный тип случайного процесса, который называется марковским или процессом марковского типа. Его особенность заключается в том, что вероятность любого состояния ССП в будущем зависит только от состояния системы в настоящий момент и не зависит от того, каким образом система пришла в это состояние. Из представленного описания видно, что помимо того что модель объективна сложна, но и она требует для ее реализации множество измеряемых параметров.

Подробные и конкретные сведения о причинах вызывающих несвоевременность выполнения работ можно найти в работах [16, 28, 29]. В работе [30] представлена наиболее полная таблица 1.1 причин, связанных с возникновением несвоевременности выполнения работ.

Таблица 1.1

Причины, возникновения несвоевременности выполнения работ

№ п/п	Наименование причин несвоевременности работ
1	Погодные явления (дождь, град, метель, мороз)
2	Снегопад
3	Гололед
4	Ветер свыше 6 баллов
5	Ливень
6	Мороз ниже минус 25
7	Стихийные бедствия
8	Погодные условия на строительной площадке.
9	Ошибки на строительной площадке
10	Ошибки на стадии инженерной подготовки
11	Производство бракованной продукции
12	Излишняя обработка готовой продукции
13	Потери из-за нарушения технологической последовательности выполнения работ
14	Потери из-за применения малоэффективных методов, ручных процессов
15	Потери из-за низкого качества предшествующих работ
16	Низкое качество выполняемых работ
17	Нарушение принятой технологии производства работ
18	Устранение брака, переделка недоброкачественно выполненных работ
19	Нарушение правил техники безопасности, противопожарных мероприятий
20	Появление непредвиденных работ
21	Изменение запланированной последовательности работ
22	Непредвиденные перерывы в выполнении работ;
23	Перебазирование на новое рабочее место
24	Ожидание информации
25	Неподготовленности фронта работ
26	Несвоевременность указаний технического персонала
27	Нерациональная организация строительных площадок и графиков работ
28	Увеличение расстояний транспортирования
29	Излишние перекладки и перемещения материалов, конструкций, механизмов
30	Холостые пробеги машин
31	Срыв сроков предоставления или подготовки площадки, фронта работ
32	Несвоевременное обеспечение проектной документацией
33	Срыв согласованных сроков работ контрагентами строительства

34	Несвоевременное принятие решений или доведение их до исполнителей
35	Недостатки структуры управления
36	Несовершенство оперативного планирования и управления
37	Отсутствие или некомпетентность диспетчерской службы, аппарата управления
38	Некомпетентность руководства и необоснованные корректировки плана работ
39	Проектные ошибки
40	Потери из-за дефектов рабочих чертежей
41	Изменение проектных решений в процессе строительства
42	Недостатки проектирования технологии
43	Ошибки вычислительной техники
44	Ошибки планирования и управления
45	Получение необъективной или неверной информации
46	Принципиально статистическое определение норм трудовых затрат
47	Неопределенность состава работ
48	Несоответствие между планируемой нормативной базой и фактически используемой базой при производстве работ
49	Слабое взаимодействие бригад
50	Ожидание строительного оборудования
51	Ожидание строительных материалов
52	Ожидание инструмента
53	Взаимодействие внутри бригады
54	Несвоевременная подача материалов на рабочее место
55	Недостаток или неисправность орудий труда
56	Отсутствие или перебои подачи энергии, топлива, пара, воды на рабочие места
57	Прекращение подачи на стройку энергии, воды, пара
58	Неявки и опоздания на работу
59	Преждевременные уходы на обед и с работы
60	Посторонние разговоры
61	Болезнь
62	Учебный отпуск, отпуск по беременности, отпуск без сохранения содержания
63	Применения материалов и деталей, не соответствующих требованиям проекта
64	Поломка машин, механизмов, транспортных средств, средств малой механизации
65	Выход из строя временных инженерных сетей и коммуникаций
66	Низкое качество материалов, деталей, конструкций, полуфабрикатов
67	Отсутствие или поломка средств измерений, инструментов и приспособлений
68	Изменение численного или квалификационного состава звеньев и бригад
69	Отсутствие материалов, изделий, конструкций, полуфабрикатов, оборудования
70	Отсутствие необходимых ресурсов или нарушение сроков их поставки
71	Отсутствие рабочих требуемой специальности и квалификации
72	Отсутствие производственной связи или ее повреждение
73	Невыполнение производственного задания при полном обеспечении работ
74	Низкая квалификация исполнителей
75	Умышленная порча или хищение материалов, инструментов, оборудования
76	Отсутствие мотивации в своевременном и качественном производстве работ
77	Необеспеченность рабочих нормальными бытовыми условиями и питанием
78	Недобросовестность поставщиков оборудования, материалов

Как видно из представленной таблицы, причин, приводящих к возникновению несвоевременности выполнения работ, достаточно много и вряд ли можно ожидать их полного информационного описания применительно к конкретной системе строительного производства. Однако теоретическое описание некоторых причин все же позволяет (хотя бы в порядке профилактики) уменьшить неполноту информационного описания системы строительного производства. Поэтому далее рассмотрим две объективные причины, которые в обязательном порядке приводят к возникновению несвоевременности исполнения работ.

1.1.4 Влияние принятия гипотезы о равномерном выполнении работ на задержку окончания.

Рассмотрим данную причину на основании анализа работы [31]. Как известно, выполнение любой работы можно представить как последовательное выполнение выделенных временных этапов, число которых обозначим буквой N . Очевидно, что запланированное на каждый этап задание с целью упрощения планирования считается постоянным. Это допущение отображено на рис.1.3 (с помощью двойной линии) в виде равномерного распределения объемов работы по 10 временным этапам.

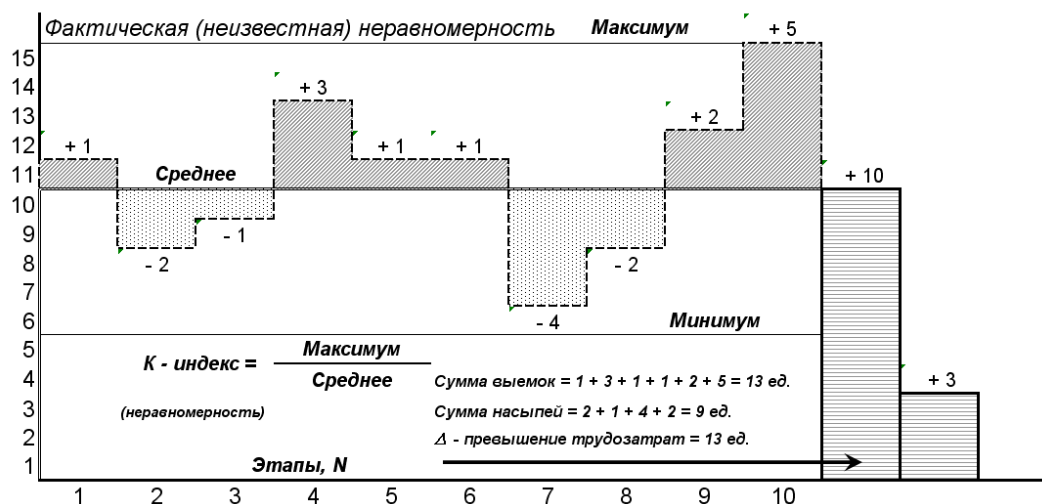


Рис.1.3 Влияние латентной неравномерности на несвоевременность выполнения работы

Следует отметить, что количество исполнителей работы как раз и назначается исходя из средней интенсивности выполнения работы. Штриховой линией на рисунке 1.3 показаны фактические объемы работ. Очевидно, что эти объемы до их освоения являются величинами неизвестными, то есть скрытыми или другими словами латентными. Поэтому априори, то есть на стадии планирования, относительно латентной неопределенности мы можем строить только прогнозы, один из которых представлен на рис.1.3.

Рассмотрим поэтапное выполнение работ. На 1, 4, 5, 6, 9 и 10-м этапах фактические объемы превышают запланированные объемы. На 2, 3, 7 и 8-м этапах фактические объемы меньше запланированных. Закон Паркинсона гласит, что «работа заполняет все время, отпущенное на нее» [32, с.100]. Из этого следует, что плановые задания на 2, 3, 7 и 8-м этапах будут полностью выполнены, но сами эти задания по отношению к средней интенсивности оказались меньше в сумме на 9 единиц (принятая нами условная размерность объема работы). Когда же плановое задание, с учетом неравномерности, превышает запланированное среднее, то следует ожидать, что недовыполнение работ будет увеличено на 1, 3, 1, 1, 2 и 5 единиц. При этом общее недовыполнение составит 13 единиц, и как раз этот объем определит несвоевременное выполнение всей работы, на которую понадобится уже не 10 временных этапов, а 11,3.

Как видно, представленная схема отображения и учета неравномерности соответствует модели случайного процесса, для которого необходимо определить соответствующие параметры. Поэтому в качестве «профилактического» мероприятия может быть рекомендован планируемый учет неравномерности распределения объема работы во времени.

1.1.5 Учет ресурсного профиля работы как эффективный инструмент более точного предсказания ее окончания. Как было отмечено ранее: суммарный график движения рабочих будет не достаточно адекватным по отношению к базисным решениям, заложенным в технологические карты. Однако, анализ зарубежных и отечественных программ управления проектами показывает, что в некоторых программах управления проектами предусмотрено использование различных ресурсных профилей. В частности, в программе Microsoft Project 2003 (MP) имеется 8 различных загрузочных профилей и, следовательно, имеется потенциальная возможность выбора наиболее адекватного профиля загрузки для любого ресурса.

В работе [33] показано, что для целей оптимизации графиков движения рабочих в календарных планах методом вариации ресурсных профилей, эффективными являются 4 профиля, которым в данной программе даны следующие оригинальные имена: «Плоскость» - определяет равномерное распределение ресурсов, «Загрузка в начале» - определяет практически линейно-убывающее использование ресурсов, «Загрузка в конце» - определяет линейно-возрастающее

использование ресурсов и «Черепеха» - определяет ресурсный профиль в виде трапеции. В дальнейшем изложении нами использованы более простые имена: «Плоскость», «Спуск», «Подъем» и «Трапеция».

Следует отметить, что использование эффективных профилей имеет свою специфику, а именно: в программе *MP*, при назначении ресурсов с целью выполнения ими определенных задач, используются максимальные значения профилей. В качестве примера на рисунке 1.4 показаны распределения ресурсов при назначении на работу длительностью в 10 дн. 4-х эффективных профилей, имеющих одинаковый максимум в 20 чел.

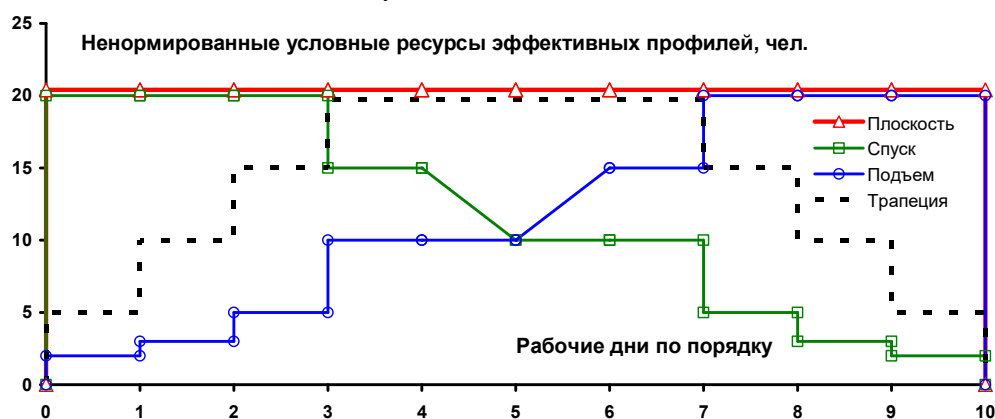


Рис. 1.4 Графики загрузки 4-х эффективных профилей с одинаковым максимумом.

При данном подходе к назначению ресурсов получается, что для работ с одинаковой продолжительностью и одинаковым максимальным назначением будет отличаться их трудоемкость, которая, на самом деле, является постоянным параметром. Для исправления этого необходимо провести замену инвариантности по максимуму назначения на инвариантность по трудоемкости, для чего требуется соответствующая перенормировка. Применяя для этой цели очевидный алгоритм перенормировки, для всех эффективных профилей получены одинаковые трудозатраты, а максимумы ресурсов оказались отличными для разных загрузочных профилей, что продемонстрировано на рисунке 1.5. Заметим, что в компьютерной программе *MP* данная процедура может быть автоматизирована с помощью применения соответствующих пользовательских функций, вставленных в определенные столбцы электронной таблицы диаграммы Ганта.

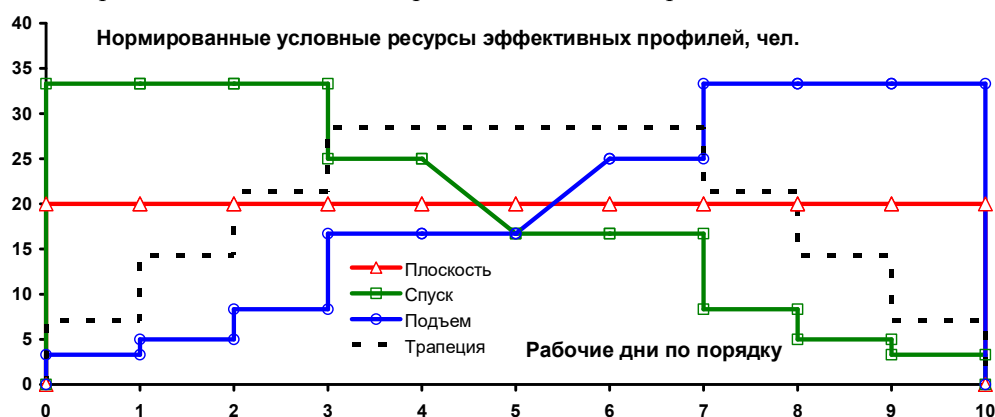


Рис. 1.5. Нормированные по трудозатратам графики загрузки эффективных профилей.

Очевидно, что наличие нескольких вариантов загрузочных профилей определяет дополнительную степень свободы в решении общей задачи календарного планирования. Поэтому для выбора одного из загрузочных профилей потребовало введения в задачу вполне определенного критерия. При этом в качестве объекта критериальной оценки нами рассмотрен график движения рабочих, полученный из соответствующей технологической карты, а итоговым результатом сравнения использована близость базисного распределения ресурсов, полученного из технологической карты, и варианта его аппроксимации эффективным ресурсным профилем. Традиционное решение подобной задачи обычно сводится к тому или иному статистическому

критерию, однако для нашей задачи можно использовать более наглядный и адекватный для организационно-технологического проектирования подход, заключающийся в следующем обосновании.

В работах [31, 34] показано, что учет фактической неравномерности выполнения работы приводит к увеличению вероятности ее несвоевременного выполнения. Это значит, что при определении наиболее адекватного профиля необходимо минимизировать отклонения от базисного распределения. Как известно, выполнение любой работы можно представить как последовательное выполнение выделенных временных этапов, число которых определяется числом изменений в назначенных ресурсах. Рассматривая поэтапное выполнение работ, можно видеть, что на отдельных этапах базисное число ресурсов меньше числа ресурсов по запланированному профилю. Из этого следует, что плановые задания имеют меньшую загрузку и, следовательно, ресурсная трудоемкость будет недоиспользована. Когда же плановое задание с учетом неравномерности превышает запланированное среднее, то следует ожидать недовыполнение этапов работы. Очевидно, что этот объем недовыполнения как раз и составит основу несвоевременного выполнения всей работы, на которую ставится аппроксимирующий профиль. В результате критерием корректности аппроксимации базисного профиля должен считаться вариант, для которого будут минимизироваться дополнительные трудозатраты, вызывающие несвоевременность выполнения работ. Таким образом, предлагаемый критерий имеет вполне определенное преимущество перед более абстрактными статистическими критериями.

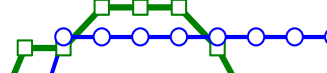
На рисунке 1.6 представлен практический пример технологической карты по организации комплекса работ в процессе подготовки, благоустройства и строительства малоэтажного жилого дома. Выбор данной технологической карты показывает, что любая конкретная работа может представлять собой целый комплекс отдельных технологических процессов. В верхней части рисунка 1.6 показан календарный график, включающий 10 работ, объединенных в общепринятые в строительстве циклы. Для каждой работы определены: начало, длительность и число основных строительных рабочих.

По этим данным рассчитан график движения рабочих, который представлен в виде диаграммы Ганта или, используя другую терминологию, линейного календарного графика. Далее для эффективных профилей рассчитаны данные по неиспользуемой трудоемкости (аппроксимирующее значение превышает базисные ресурсы по технологической карте). Минимум неиспользуемой трудоемкости в 64 чел.-нед. пришелся на профиль «Подъем». Заметим, что обычно принимаемая равномерная аппроксимация составила гораздо большие потери в 160 чел.-нед, что превышает оптимальное значение в 2,5 раза. Общий вывод, по полученному в представленном примере результату, сводится к тому, что для аппроксимации данной технологической карты одной интегрированной работой следует использовать загрузочный профиль типа «Подъем». Более подробно данный материал представлен в работе [35].

1.2 Снижение эффективности планирования и управления строительным производством в условиях дефицита и недостоверности информации

1.2.1 Увеличение продолжительности строительства. Одним из основных технико-экономических показателей календарного плана является продолжительность строительства. В первую очередь с помощью этого показателя производится сравнение различных вариантов календарных планов и оценивается их эффективность. При этом, превышение продолжительности строительства считается негативным фактором.

В строительстве, при подготовке проектной документации, его общая продолжительность задается либо директивно заказчиком [36] либо определяется расчетом с использованием СНиП 1.04.03-85* [14] или МДС 12-43.2008 [37]. Расчетом с использованием вышеуказанных нормативных документов, можно определить продолжительность строительства большинства объектов и сооружений.

Циклы работ	Работы	Начало, нед.	Длит., нед.	Понедельный календарный график выполнения работ																								
				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
Подготовка	Обустройство СГП	0	4	6	6	6	6																					
Работы нулевого цикла	Инж. сети, дороги1	4	3					4	4	4																		
	Инж. сети, дороги2	18	3																		4	4	4					
	Фундамент	4	4					7	7	7	7																	
Монтаж надземной части	Монтаж	6	16							13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13	13			
	Кровля	22	2																							6	6	
	Проемы	8	16										4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	
Внут. отдел.	Штукат. и малярка	9	16										14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	
Нар. отдел.	Фасадные р-ты	14	10															6	6	6	6	6	6	6	6	6	6	
Благоустр.	Малые ф-мы, озелен.	16	9																	9	9	9	9	9	9	9	9	
График движения рабочих (ГДР) по Техкарте				6	6	6	6	11	11	24	20	17	31	31	31	31	31	37	37	46	46	50	50	50	46	39	39	23
Аппроксимация ресурсным профилем Плоскость				29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29	29
Аппроксимация ресурсным профилем Спуск				47	47	47	47	47	47	47	47	35	35	35	35	35	24	24	24	24	24	12	12	7	7	7	5	5
Аппроксимация ресурсным профилем Подъем				5	5	7	7	7	12	12	24	24	24	24	24	24	35	35	35	35	35	47	47	47	47	47	47	47
Аппроксимация ресурсным профилем Трапеция				10	10	20	20	20	30	30	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	40	30	30	20	20	20	10	10
Не используемая ресурсными профилями трудоемкость		Плоскость	160	50 R (число рабочих), чел. 																								
		Спуск	322																									
		Подъем	64																									
		Трапеция	167																									

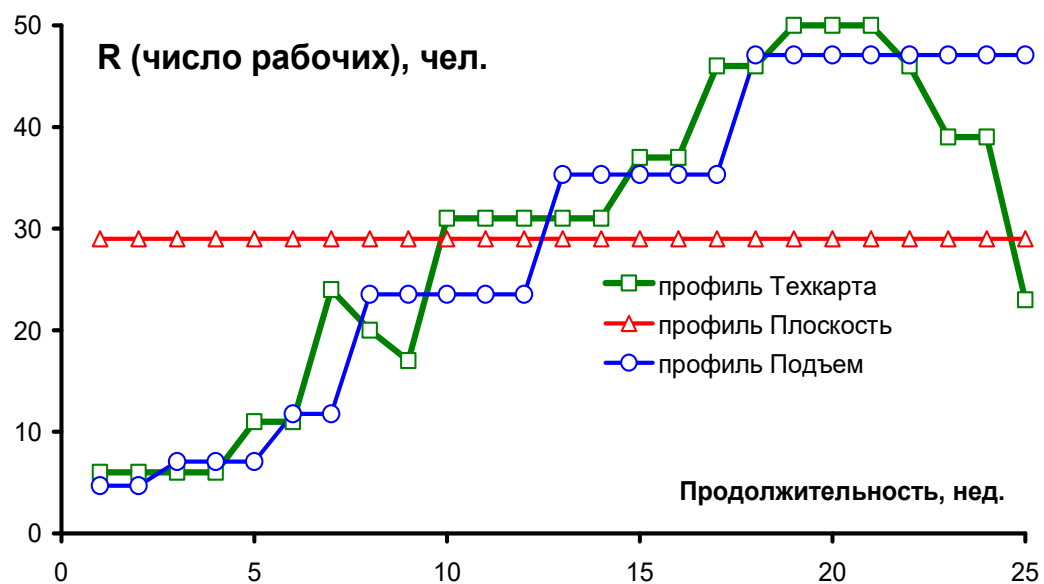


Рис. 1.6 Построение графика движения рабочих по технологической карте и аппроксимирующих профилей

В строительной отрасли существуют особые классы объектов, к ним относятся уникальные, опасные, технически сложные и другие аналогичные объекты. Продолжительность строительства уникальных, технически сложных объектов вышеуказанными нормативными документами не нормируется. Если же для таких объектов и удастся найти аналог то, как правило, источником информации являются ненормативные документы и применение продолжительности строительства объекта аналога к проектируемому объекту в чистом виде не всегда возможно из-за большого количества факторов, помимо архитектурных, объемно-планировочных и конструктивных особенностей, влияющих на сроки производства работ. К таким факторам следует отнести: природно-климатические особенности региона строительства, размеры площадки строительства, условия доставки строительных материалов, коэффициент использования участка строительства, ограничения по охране окружающей среды и уровню допустимого шума и т. д. В связи с этим продолжительность строительства уникальных объектов может быть задана только директивно.

На основе анализа составов ПОС (проект организации строительства) и ППР (проект производства работ) установлено, что основной целью организационно-технологической документации является подготовка объекта к строительству, а также подготовка строительных предприятий к возведению объекта [38], а их основными технико-экономическими характеристиками являются следующие показатели [39]:

- продолжительность строительства;
- себестоимость работ в целом или единицы продукции в натуральных величинах (1 м² площади здания, 1 м³ строительного объема здания и т.п.);
- трудоемкость работ;
- выработка рабочего на единицу времени.

С помощью выше приведенных технико-экономических показателей производится сравнение различных вариантов ПОС и ППР и оценивается эффективность проекта в целом. Таким образом, получается, что роль нормативной продолжительности строительства среди технико-экономических показателей очень высока.

Вместе с этим следует отметить, что нормативная продолжительность строительства является основой для разработки календарного плана, а без разработки календарного плана невозможно корректно сформировать денежный поток, связанный с инвестиционным периодом жизненного цикла строительного объекта [40]. Следует также иметь в виду и то, что продолжительность строительства, полученная в результате расчета календарного плана, не должна быть выше нормативной, так как последняя является максимально-допустимой. Из всего выше сказанного следует, что в организации строительного производства увеличение продолжительности строительства является негативным фактором.

1.2.2 Удорожание строительства за счет роста непредвиденных затрат. Без продолжительности строительства невозможно оценить экономическую эффективность инвестиционно-строительного проекта (ИСП). От продолжительности строительства зависит и его стоимость [41].

В работе [41] отмечается, что «...для строительных организаций необходимо определить объем экономических рисков на этапах рассмотрения календарных планов строительства и установить сроки окончания этапов работ и строительства в целом. При этом следует учитывать, что сроки строительства по календарному плану установлены на основании определенных технических норм и наличия технических и трудовых ресурсов.» И далее «Практика строительства показывает значительное отклонение реальных сроков окончания работ от соответствующих расчетных значений.»

Сроки строительства влияют на продолжительность аренды строительной техники, помещений для временных административно-бытовых нужд строительства, участков, расположенных вне границ землеотводов и необходимых для организации строительства. Сроки строительства влияют на величину оплаты труда ИТР и других работников, в трудовом договоре которых зафиксирована почасовая оплата труда.

Из всего выше сказанного можно сделать вывод о важности продолжительности строительства, как технико-экономического показателя организационно-технологического проектирования без которого невозможно корректно определить стоимость строительства и сформировать денежный поток по инвестиционному периоду деятельности, оценить экономическую эффективность ИСП (инвестиционный строительный проект) и организовать планомерный выпуск строительной продукции.

Расчеты трудозатрат и стоимости при формировании графика строительства, входящего в обязательном порядке не только в проекты организации строительства, но и в проекты производства работ и технологические карты, могут производиться с применением разных документов, что неизбежно приводит к отличающимся результатам при определении длительности проекта. Поэтому вопрос о соотношении отечественных и иностранных норм затрат труда в строительстве является актуальной задачей.

Зарубежные нормативные базы отличаются большим разнообразием. Очень важно отметить, что при их разработке используется принципиально другой подход. В СССР все нормы проектировались и вводились директивно на уровне государства и были обязательны для применения. В современной России нормы также вводятся государством, но во многих случаях носят рекомендательный характер.

За рубежом разработка стоимостных показателей и показателей трудозатрат – это отдельный вид коммерческой деятельности. Выпускаемые сборники цен применяются на добровольной основе и не требуют утверждения и введения в действие через официальные государственные инстанции.

В каждой стране имеется несколько крупных организаций, занимающихся формированием сборников со своей установленной периодичностью (но не реже, чем 1 раз в год). Так в Великобритании это компании BCIS (сборник ComprehensiveBuildingPriceBook и др.), DavisLangdonanAECOMCompany (сборники Spon'sPriceBooks), TechnicalIndexesLtd (сборники Wessex); в США – CompassInternational (сборник GlobalConstructionCostsYearbook и др.) и RSMeans (BuildingConstructionCostDataBook и др.); во Франции – GroupeMoniteur (сборник Le coût des travaux de bâtiment и др.), в Польше – Koel-Agimag (система NORMA) и т.д. [42, 43, 44].

1.2.3 Ухудшение технико-экономических показателей, оценивающих эффективность реализации строительных проектов.

По официальным данным Аналитического центра при Правительстве РФ, опубликованном в работе [45], отмечается снижение индекса производительности труда во всех отраслях экономики Российской Федерации, за исключением сельского хозяйства, охоты и лесного хозяйства, производства и распределения электроэнергии, газа и воды, где данный показатель вырос. Это означает, что официальный индекс производительности труда, в российском строительном комплексе, остро нуждается в повышении уровня рентабельности, которая напрямую зависит не только от производительности труда, но и от уровня общих производственных потерь, увязывании между собой всей цепочки строительных процессов. Однако для получения положительного эффекта нужны не декларации, а серьезные шаги, по административным, точнее управленческим решениям. Таким образом, можно констатировать, что негативные тенденции от ухудшения основных показателей строительства отдельных объектов системно переходят в показатели ухудшения всей отрасли строительства. В современной мировой практике разработана система оценки планирования и реализации инвестиционных проектов [46].

Экономическая модель проекта является своего рода генератором денежного потока, и она служит для обоснования инвестиций. Как уже было отмечено, жизненный цикл инвестиционного строительного проекта представляют в виде распределенной во времени суммы денежных средств (сальдо, итога), которая состоит из притока R (Return англ. возврат) и их оттока C (Cost англ. затраты). Обычно под возвратом денежных средств понимают чистую прибыль, полученную от реализации проекта.

Основой определения экономической эффективности является зависимость стоимости денег во времени, определяемой по формуле (1.1), основанной на исчислении сложных процентов. Из приведенной формулы следует, как должен расти вложенный капитал.

$$C_T = C_0 \cdot (1 + E)^T, \quad (1.1)$$

где C_0 – сумма инвестированная в нулевой момент времени;

C_T – полученная сумма в момент времени T ;

E – норма дохода на инвестированную сумму.

$$C_0 = C_T \cdot (1 + E)^{-T}. \quad (1.2)$$

$$E \approx E_k + I + R, \quad (1.3)$$

где E_k – это безрисковая ставка, которая для коммерческих банков E_k устанавливается ЦБ РФ,

I - темп инфляции определяется как макроэкономический показатель,

R - премия за риск определяется индивидуально (для строительства это обычно до 10% годовых).

Однако на практике используют формулу (1.2), определяющую современную стоимость будущих затрат или доходов.

Как видно из предыдущих формул, основным параметром, входящим в обе формулы, является норма дисконта, которая требует своего обоснования, определяемого интересами конкретного инвестора. В оценочных расчетах норму дисконта определяют по формуле (1.3).

В общем случае для оценки денежного потока, связанного с расходами и доходами от реализации инвестиционного строительного проекта, используется величина, получившая название чистого дисконтированного дохода (ЧДД) (англ. *Net present value* – NPV), которая рассчитывается по формуле (1.4). Проект считается эффективным, если $NPV > 0$ и он максимален.

$$NPV = \sum_{t=1}^T \frac{(R_t - C_t)}{(1 + E)^t}, \quad (1.4)$$

где R_t – величина дохода;

C_t – величина затрат, включая инвестиционные затраты;

t – момент времени получения дохода или осуществления затрат;

T – продолжительность жизненного цикла проекта.

$$\sum_{t=1}^T \frac{(R_t - C_t)}{(1 + IRR)^t} = 0. \quad (1.5)$$

$$\sum_{t=1}^{DPB} \frac{(R_t - C_t)}{(1 + E)^t} = 0. \quad (1.6)$$

$$PI = \frac{\sum_{t=1}^T \frac{R_t}{(1 + E)^t}}{\sum_{t=1}^T \frac{C_t}{(1 + E)^t}}. \quad (1.7)$$

Внутренняя норма доходности–ВНД (англ. *Internal Rate of Return*– IRR) определяется таким значением дисконта, при котором $NPV = 0$, т.е. является корнем решения уравнения (3.5). Данный показатель используется, если значение нормы дисконта не определено. По этому показателю устанавливается такое граничное значение дисконта, выше которого ЧДД становится отрицательным и, следовательно, при $E > IRR$ ИСП является неэффективным. Для инвестора проект является эффективным, если $IRR > 0$ и при его максимальной.

Дисконтированный период окупаемости – ДПО (англ. *Discount PayBack Period* – DBP) рассчитывается по следующей формуле (1.6). Чем меньше дисконтированный период окупаемости, тем эффективнее оцениваемый проект.

Индекс дисконтированной доходности ИД (англ. *Profitability index* - PI) рассчитывается как отношение дисконтированного дохода к дисконтированным инвестициям по формуле (1.7). Данный показатель устанавливает дисконтированную рентабельность ИСП, должен быть максимальным и больше единицы.

Пример. Жизненный цикл ИСП состоит из достроительного этапа продолжительностью в 1 год, строительного этапа продолжительностью в 2 года и эксплуатационного этапа продолжительностью в 5 лет, после чего планируется оценить созданный бизнес и продать его другому собственнику. Итого жизненный цикл проекта составляет 8 лет. Планируемые денежные суммы в условных единицах представлены в таблице 1.2.

Таблица 1.2.

Распределение денежных средств по жизненному циклу проекта в условных единицах (расчет при $E=37.2$ и оплате пренумерандо)

Временные интервалы t , г.	1	2	3	4	5	6	7	8
Капитальные затраты C	10	40	20	эксплуатация				продажа
Приток средств R	строительство			30	60	75	90	234
Чистый доход $PV = 340$			$NPV = 33.3$	$IRR = 0.55$		$PBP = 6.4$		$PI = 1.7$

$$PV = (-10 - 40 - 20) + (30 + 60 + 75 + 90 + 234) = 419 \text{ у. е.}$$

$$NPV = -10/(1+E)^0 - 40/(1+E)^1 - 40/(1+E)^2 + 30/(1+E)^3 + 60/(1+E)^4 + 75/(1+E)^5 + 90/(1+E)^6 + 234/(1+E)^7 = 33.3 \text{ у. е.}$$

$$+ 60/(1+E)^4 + 75/(1+E)^5 + 90/(1+E)^6 + 234/(1+E)^7 = 33.3 \text{ у. е.}$$

Если допустить, что окончание строительства произошло на 1 год позже, то все представленные в таблице плановые показатели изменятся в сторону ухудшения.

1.3 Методы мониторинга, определяющие состояние системы строительного производства

1.3.1 Пример постановки практического мониторинга выполняемых работ. Для того чтобы лучше понять предлагаемые в дальнейшем новые решения актуальных задач, связанных с прогнозом продолжительности строительства, представим результаты постановки и осуществления практического мониторинга жилищного строительства конкретного объекта. Для демонстрации примера приведем описание некоторых технических данных по объекту строительства и субъекту управления процессом строительного производства.

Объектом строительного мониторинга является 3-я очередь жилищного комплекса «Чистое небо», расположенного в г. Санкт-Петербург на юго-восточном пересечении Комендантского проспекта с рекой Каменка. Компанией застройщиком объекта, площадь которого равна 170 тысяч квадратных метров является ЗАО «Setl Строй» [47], а компанией, осуществляющей мониторинг строительства, является АСИК LAB [48]. Аббревиатура АСИК расшифровывается как автоматизированная система инвестиционного контроля, а дата представленного результата мониторинга (контроля) установлена как 21 февраля 2017 года. Объем контроля определен количеством контрольных точек (КТ), загруженных в систему АСИК, и равняется 5 433 и осуществляется 3 контролерами. Общее число проверяемых на исполнение типовых технологических карт (ТТК) равно 53, а число активированных на момент контроля карт равно 23.

Перед осуществлением процедуры мониторинга контролеры АСИК уведомляет всех менеджеров об организации процесса контроля и о сопутствующих рисках этого процесса. Система АСИК генерирует, так называемую, рейтинг-матрицу, служащую для оценки всех участников строительства. В проводимом мониторинге сочетаются два принципа – это принцип «системного контроля» и принцип «конкретного контроля». Доминантой метода «системного контроля» является определение очагов риска, а после их определения методами «конкретного контроля» конкретизируются соответствующие отклонения, которые требуют выполнения мероприятий (подрядчиками или поставщиками) направленных на уменьшение выявленных недостатков. Однако предлагаемые мероприятия могут иметь не только чисто профилактическую цель, но и включать в себя компенсационную и штрафную составляющие.

Системный контроль проводится посредством посещения специалистами так называемых «Контрольных точек», определенных на основании структуры строительного объекта. Контролер пошагово осуществляет регистрацию и ввод данных в систему АСИК, а именно:

- проводит замер фактически выполненных строительно-монтажных работ;
 - по анкетному интерфейсу в систему АСИК вводится информация;
 - сравнивает фактический вид «Контрольной точки» с предварительными образцами;
 - определяет существующие отклонения по качеству и количеству выполненных строительно-монтажных работ и, если такие есть, производит фотоотчет по разработанному системой АСИК способу;
 - вводит полученные данные в систему и закрывает проверку данной «Контрольной точки».
- На основании введенных данных с помощью процедуры системного контроля определяется.
- темп развития строительно-монтажных работ за неделю и сравнивает его с запланированными показателями;
 - отклонения от запланированного темпа развития количественных объемов, запланированных генеральным линейным графиком строительства;

- отклонения от «Эталонов качества»;
 - автоматическая генерация списков новых «Контрольных точек» для последующих проверок.
- «Конкретный контроль» производится с участием главного инженера или его заместителей после предварительного осмотра отклонений с помощью фотоотчета, сделанного Контролером. После просмотра реальных отклонений команда Технического Надзора и Главного инженера проходят через рискованные «Контрольные точки» и проверяют:

- выполнение строительно-монтажных работ со стороны подрядчиков;
- подтверждают или отвергают рискованное отклонение на «Контрольной точке»;
- определяют первоисточник отклонения.

На основе этих осмотров создается протокол о констатации нарушений и проводится процесс анализа и классификации.

Рассмотрим интересующие нас актуальные результаты мониторинга. В отчете зафиксировано, что запланированный срок сдачи объекта намечен на 23.07.2017 г. и то, что до даты анализа (20.02.2017 г.) прошло времени 68,83%. Но в результатах мониторинга не приводится планируемая продолжительность строительства. Конечно, по представленным данным можно определить дату начала строительства. С даты 21.02.2017 г. по дату 23.07.2017 г. должно было пройти 153 календарных дня, и по плану должно быть выполнено работ на $100\% - 68,83\% = 31,17\%$. Следовательно, планируемый темп выполнения работ, отнесенный к одному календарному дню, будет равен $31,17\% / 153 \text{ дня} = 0,2037 \text{ \%/день}$. Следовательно, на плановое выполнение 68,17% потрачено $68,17 / 0,2037 = 335$ дней. Вычитаем эти дни из даты анализа 20.02.2017 г. продолжительность 335 дней и получаем дату начала строительства 22.03.2016 г. В результате планируемая продолжительность строительства составила $335 + 153 = 488$ дней.

Представленный пример показывает наличие информационной неполноты исходных данных. В конечном итоге нормативную продолжительность можно восстановить с помощью применения принципа регрессии, но тогда следует признать, что планируемая продолжительность имеет случайную составляющую. Покажем это с помощью описания в виде формализованной системы уравнений.

Так как представленные в мониторинговых отчетах данные содержат срок планового окончания строительства D_p , но не содержат даты начала строительства D_s и его плановой продолжительности T_p , то планируемые темпы производства работ могут быть рассчитаны по следующей формуле.

$$I_p = \frac{100 - Q_{pm}}{\text{day}(D_p - D_m)}, \quad (1.8)$$

где Q_{pm} – планируемое выполнение работ на дату мониторинга;

D_m – указанная в отчете дата проведения мониторинга;

$\text{day}()$ – функция, переводящая разность дат в календарные дни.

В соответствие с расчетом оставшегося числа календарных дней до плановой сдачи объекта в эксплуатацию и планируемого на этот период объема работ можно восстановить планируемую продолжительность строительства с помощью формулы.

$$\text{По формуле (1.10) } T_p = \frac{100 \text{day}(D_p - D_m)}{100 - Q_{pm}} \text{ чала строительства объекта} \quad (1.9)$$

где $\text{date}()$ – функция, выч $D_s = \text{date}(D_p - T_p)$ бытия в соответствие разностью планируемого окончания и продолжительности строительства.

В конечном результате по формуле (1.11) можно рассчитать прогноз фактической продолжительности строительства объекта

$$T_f = \frac{100 \text{day}(D_m - D_s)}{Q_{fm}} \quad (1.11)$$

Представленная система расчетных формул показывает, что плановое начало строительства и плановая продолжительность из детерминированных величин трансформируются в случайные величины. И причина такой трансформации связана с информационной неполнотой описания системы строительного производства.

В таблице 1.3 представлены данные по 3-м мониторингам организации SetlCity

Таблица 1.3

Данные по 3-м мониторингам организации SetlCity

Мониторинг	Начало	Конец	Середина	Время, %	Факт. объем, %	Прогноз
№3	16.01.2017	26.01.2017	21.01.2017	63,34	48,40	21.12.2017
№4	27.01.2017	09.02.2017	04.02.2017	66,19	49,67	31.12.2017
№5	10.02.2017	20.02.2017	15.02.2017	68,83	51,83	03.01.2018

На основании расчета по приведенным выше формулам в последнем столбце таблицы 1.3 показаны прогнозируемые даты сдачи рассматриваемого объекта в эксплуатацию. Для представленных мониторингов прогнозы задержки сроков сдачи составили: для мониторинга №3 – 151 д., для №4 – 161 д. и для №5 – 164 д. Эти данные показывают, что прогноз окончания строительства зависит как от времени проведения мониторинга, так и от объемов выполненных работ.

На рисунке 1.7 в графической интерпретации показана логика предсказания срока сдачи объекта, определяемого мониторингом системы АСИК.

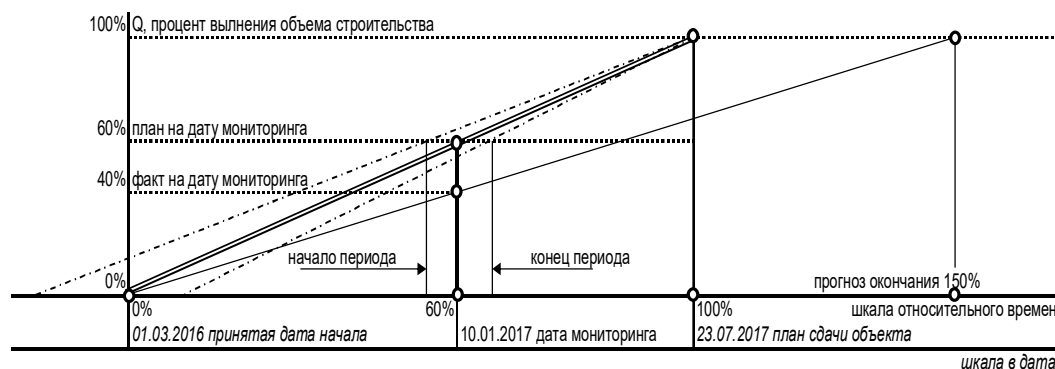


Рисунок 1.7. Логика предсказания срока сдачи объекта

Планируемый график выполнения общего объема работ изображен двойной линией в координатах безразмерного объема от безразмерного времени. Начальная точка – это нулевой момент времени и ноль процентов выполненных работ, конечная точка – это 100% выполненных работ за 100% планового времени. Система АСИК принимает прямо пропорциональное выполнение работ между этими событиями. Если же за 60% прошедшего времени выполнено только 40% работ, то исходя из принятой системой АСИК принципа линейности, прогноз окончания соответствует 150% плановой продолжительности. На рисунке 1.7 штрих-пунктирными линиями показано, что если момент начала строительства изменяется как случайная величина, то это внесет дополнительную погрешность в прогноз окончания строительства.

1.3.2 Сложность анализа расхождения актуализированных календарных графиков работ и запланированных моделей. Обратим внимание на огромный объем строительства данного объекта, составляющий почти 170 тыс. м² общей площади. Для такого объекта силами 3-х специалистов, число которых декларировано в отчетах, невозможно проверить выполненные подрядчиками объемы работ за один день. Из этого следует, что дата, на которую фиксируются выполненные работы, может быть принята только как некоторая условная дата и, следовательно, для корректного прогноза должна быть учтена погрешность усреднения, связанная с выбранной датой проведения мониторинга (см. рисунок 1.7).

Единицей представления данных по планируемым и фактическим объемам работ является процент. Однако, с точки зрения теории измерений, определение процентов не входит в категорию прямых измерений, а их значение является результатом обработки измеренных данных [49, 50]. Для прямых измерений, проводимых в процессе мониторинга, могут быть использованы счетные, физические и геометрические характеристики, а также величины трудовых затрат и стоимости. Вместе с этим также необходимо учитывать и многообразие объектов измерения, по которым рассчитываются проценты выполнения работ. К измеряемым объектам могут относиться конструкции в натуре, списанные материалы, оплаченные работы и т.д. и т.п. Из всего этого следует, что для представленных процентов планируемых и актуализированных работ также требуется обоснование соответствующих погрешностей.

1.3.3 Система учета выполняемых работ в программах управления проектами. Система учета фактически выполненных работ имеется практически во всех программах управления проектами. Это связано с тем, что при реализации любого управления выполняются так называемые общие функции управления: планирование, организация и контроль. Рассматривая общую логику построения программ управления проектами, можно выделить 3 разновидности календарных графиков. Наиболее применяемый из них, на наш взгляд, является текущий календарный график. В любой момент этот график может быть преобразован в так называемый базовый график и таких базовых графиков может быть несколько, например, в программе *MP* их число может достигать до 10 графиков. Общими средствами, предоставляемыми программами управления проектами, все аргументы базовых графиков фиксированы и считаются неизменными. Таким образом, основная функция базового графика – это функция планирования, а поскольку планы могут постоянно меняться в ходе строительства, то базовые графики несут функцию планирования в ходе оперативного управления. Для фиксирования фактически выполненных работ служат так называемые актуальные графики, в которых фактические объемы выполненных работ могут исчисляться либо в процентах, либо в единицах трудовых затрат. В результате программам управления проектами инициируется следующий алгоритм. Сначала разрабатывается текущий календарный график, после чего он переводится в базовый план. На определенную дату субъектами управления строительством осуществляется мониторинг хода строительства и в программу заносятся фактические объемы работ, которые, как правило, отличаются от запланированных объемов. Поэтому дальнейшей задачей оперативного управления является такое регулирование хода строительства, при котором должны быть исправлены полученные расхождения, имеющие, как правило, отставание от последнего оперативного плана. Поэтому подобного рода программы предоставляют соответствующий инструментальный. Для этого составляется новый оперативный план, имеющий новое ресурсное обеспечение (машины, механизмы, рабочие и материалы) и новое бюджетирование строительства, определяемое новыми затратами. Описанное циклическое управление происходит вплоть до полного окончания строительства.

Естественно, что разные программы управления проектами отличаются как интерфейсом, так и деталями. Так, например, программа *Project Expert* ориентирована на бизнес планирование и соответствующую реализацию бизнес-стратегии проекта, а программа *Microsoft Project* в основном ориентирована на производственное планирование. Из этого следует предпочтительная пользовательская субъектность: в первом случае преимущественная ориентация на заказчика, а во втором ориентация на подрядчика.

1.3.4 Основы BIM-моделирования жизненного цикла объекта строительства. Перейти из экстенсивного на интенсивное развитие всей системы строительного производства практически невозможно без применения специальных управленческих решений. Достигнуть общего эффекта строительной отрасли возможно с помощью перехода с ручного управления строительством, на цифровое управление проектами. Для этого необходимо четко планировать и увязывать всю цепочку использования ресурсов от возникновения идеи о строительстве, до сдачи объекта в эксплуатацию [51]. Достигнуть результата без создания единой информационной строительной среды всего проекта (от задания на проектирование до сдачи объекта в эксплуатацию) не реально. Подход основанный на *BIM-моделировании* позволит резко сократить:

- сроки проектирования;
- задержки при строительстве;
- затраты на логистику;
- получить самые выгодные предложения по всему комплексу закупки строительных материалов, машин, оборудования рабочей силы;
- обеспечить целевое использование средств;
- реализовать полный и исчерпывающий контроль за реализацией проекта;
- обеспечить высокое качество производства работ.

На пути к означенной цели, строительная отрасль во всем мире, достаточно динамично начинает использовать BIM технологии не только в архитектурном проектировании, но и в комплексной организации строительства. В результате конечной целью BIM-технологии является управление жизненным циклом здания *BLM (Building Lifecycle Management)*.

Переход к BIM-технологиям проектирования зданий позволяет расширить проектирование до охвата всего жизненного цикла здания и управления им. Это значит, что для каждого конструктивного элемента может быть прописан регламент его строительства и эксплуатации, а также регламент текущего и капитального ремонтов. Для этого в программе типа *Revit Architecture*

при проектировании может быть использована такая параметрическая характеристика конструктивного элемента, как **стадия**. Стадия, как временная характеристика, может указать срок перевода элемента из одного в другое состояние, которое может быть определено термином фаза (элемент может быть новым, существующим, временным и удаляемым). В результате, используя параметр стадия в данной программе можно осуществлять имитацию календарного планирования.

Однако помимо внутренних возможностей программ, реализующих *BIM*-технологии проектирования, имеются и внешние программы, позволяющие рассчитывать общий календарный график жизненного цикла здания, формируя при этом распределение денежного потока во времени. Например, такая распространенная программа как *Autodesk Revit Architecture*, может иметь интерфейс с программой управления проектами *Microsoft Project*. Таким образом, первой главной особенностью *BIM*-технологии проектирования является потенциальная возможность отображения состояния конструкций и инженерных систем во времени.

На сегодняшний день большинство проектируемых моделей зданий не содержат достаточного количества информации для расчета их эксплуатационных характеристик. Это, прежде всего, относится к моделям, разработанным в традиционных САПР. Пользователи таких САПР вынуждены проводить многие расчеты вручную, затрачивая массу времени и средств. Применение же параметрической модели здания, реализованной в *BIM*-технологии проектирования, облегчает решение этих задач, так как содержит многочисленные данные и ресурсы, необходимые для выполнения расчетов. Детальная и надежная модель позволяет осуществлять расчеты уже на ранних стадиях проектирования. В частности, проектировщики могут сами рассчитывать энергопотребление, изменяя конструкцию здания в соответствии с полученными результатами.

Таким образом, второй главной особенностью *BIM*-технологии проектирования является параметрическое моделирование. До его применения для построения модели здания проектировщики применяли элементы геометрии с известными значениями всех координат. В этом случае осуществлялось ручное редактирование, которое считается достаточно трудоемким процессом, и к тому же приводило к частым ошибкам. Техническая документация создавалась путем извлечения значений всех координат элементов модели и создания на их основе 2D чертежей.

По мере совершенствования методов компьютерной обработки стало возможным объединять отдельные графические элементы, формируя из них более сложные модели (стены, окна, двери и т.п.), которые стали называть компонентами. В результате модели становились более интеллектуальными, а их редактирование упрощалось. Таким образом, появились системы, поддерживающие параметрическое моделирование, суть которого — в параметризации элементов модели. Параметры определяют взаимосвязь каждого элемента модели с другими элементами и одно из главных преимуществ подобного рода программ — это учет даже малейших изменений. Установление коллизий является третьей главной особенностью *BIM*-технологии проектирования, и она осуществляет проверку объектов трехмерной модели на наличие пространственных ошибок.

Четвертой главной особенностью *BIM*-технологии проектирования является то, что вся информация о модели хранится централизованно, а именно в едином файле проекта. Благодаря этому редактирование компонента на любом из чертежных видов приводит к изменению всей модели здания, что особенно важно при совместном проектировании. В программе *Autodesk Revit Architecture* параметрические компоненты однотипных конструкций, терминологически объединены в семейства, которые являются основой процесса проектирования. По своей сути они являются элементарными единицами проекта. Параметрические компоненты могут представлять собой как простейшие строительные элементы (стены, колонны и т.п.), так и более сложные — например мебель, оборудование, элементы ландшафта, строительные машины и др.

Для работы с параметрическими компонентами не требуется знание какого-либо языка программирования, а разработка разных вариантов проекта больше не является трудоемкой задачей. Поэтому можно с легкостью представить заказчику сразу несколько вариантов решения. При этом каждый из вариантов просчитывается и представляется в наглядном виде (в виде плана, аксонометрии и даже в виде анимации). Также в программе *Autodesk Revit Architecture* можно выполнять фотореалистичную визуализацию модели.

В системе параметрического моделирования, подобной *Autodesk Revit Architecture*, пользователь может, например, просто выбрать и переместить стену на плане первого этажа. И при этом, все связанные с ней элементы будут обновлены автоматически. Крыша при этом будет синхронно перемещаться, сохраняя заданную параметрическую зависимость величины свеса. Наружные стены удлиняются автоматически, так как они должны всегда примыкать к перемещаемой стене. Таким образом, все элементы здания находятся в состоянии ассоциативных связей, что очень

важно для информационного моделирования зданий. Проверка на коллизии используется для проверки объектов трехмерной модели на наличие пространственных коллизий.

Одним из видов представления модели в *Autodesk Revit Architecture* является спецификация, которая интеллектуально дополняет проектирование. Изменения в спецификации автоматически отражаются на всех остальных видах модели. Имеется возможность ассоциативно разделять таблицы спецификаций, а также использовать в проекте такие элементы, как формулы и фильтры. Разновидностью спецификаций является функция, позволяющая определять потребность в материалах и их стоимость. Функция полезна для решения задач экологически рационального проектирования, а также для прогнозирования затрат. Точность и актуальность информации о материалах обеспечивается механизмом параметрического управления изменениями.

Autodesk Revit Architecture предоставляет возможность разработки функциональных проектов на основе концептуальных форм. Для формирования стен, крыш, этажей и стеновых ограждений достаточно выбрать соответствующие грани. Для полученной модели здания можно формировать разнообразные отчеты — например, по площадям и объемам.

Системы моделирования, позволяющие работать с элементами модели как с отдельными объектами, сегодня широко распространены. На элементарном уровне они позволяют выделить в модели трубопроводную сеть или предметы мебели, облегчая тем самым ручные построения в будущей модели. Для этого BIM-технологией проектирования предусмотрено создание нужных компонент и распределение их по семействам.

Эффективная система параметрического моделирования поддерживает работу с объектными данными на уровне компонентов и, что еще более важно, поддерживает зависимости между всеми компонентами, пояснительными элементами и видами. Пользователь может задать условие, что дверь на лестничную клетку всегда находится на определенном расстоянии от ступеней или от другой стены. Модель содержит полную информацию о здании, а не просто отдельные объекты. В итоге преимущества BIM-технологией проектирования можно охарактеризовать следующим списком.

1. Разработка информационной модели в едином файле.
2. Выделение временных стадий строительства и эксплуатации.
3. Параметрическое моделирование конструктивных элементов.
4. Проверка на коллизии.
5. Организация совместного и многовариантного проектирования.
6. Создание автоматизированных спецификаций.

1.3.5 Программная реализация мониторинга, основанного на BIM-технологии.

Кардинальным преимуществом применения BIM-технологии является комплексность, охватывающая интересы различных участников строительства. В этом отношении можно проанализировать программный комплекс, получивший название *Autodesk NavisWork*. В настоящее время имеются четыре варианта данной программы, и при этом каждая последующая умеет все то, что имеют предыдущая и сверх этого реализует дополнительные функции, которые в порядке возрастания приведены ниже.

Программа *NavisWorks Freedom* в основном ориентирована на просмотр трехмерной модели прямо на стройке с помощью беспроводного интернета (3G, *SkyLink*, *WiFi*, *WiMAX*). На наш взгляд, в основном эта программа может быть полезна для будущего собственника, чтобы тот мог видеть, как в будущем будет выглядеть построенный объект.

Для трех последующих программ есть возможность напрямую читать наиболее популярные форматы файлов (создается КЭШ в формате **.NWC*), что позволяет вносить изменения в сборную модель, если исходные файлы изменились. Можно сделать файлы, в которых будут только ссылки на исходные файлы во входных форматах (**.NWF*). И есть возможность создать "мегафайл", в котором все составляющие файлы сцеплены в единое целое (файл формата **.NWD*).

Перед каждым главным инженером (архитектором) проекта (ГИП-ГАП) стоит основная задача, заключающаяся в обеспечении качества и непротиворечивости проектируемого объекта. Поэтому именно программа ***NavisWorks Review*** предназначена для проектировщиков и авторского надзора. При этом у каждого отдельного специалиста имеется файл с трехмерной моделью его раздела, выполненный в любой индивидуальной САПР. В данной программе ГИП-ГАП может совместить все эти файлы и при чтении чертежей увидеть ошибки проектирования. Программа снабжена линейкой для измерения размеров и углов, площади помещений и возможность в любом месте написать замечания как от имени авторского надзора, так и от имени технадзора.

NavisWorks Simulate предназначена для этапа строительства и здесь как раз появляется 4 и 5-я координата — время и стоимость. Можно сделать стыковку с программами управления проектами *MS*

Project или *Primavera*, то есть задать соответствие между датами планируемых работ в системе календарного планирования и трехмерной моделью. Тогда на экране, например, в режиме кино, может воспроизводиться процесс строительства. Сначала создается строительная площадка, потом монтируются плиты, колонны, коммуникации и так далее. Можно указать любую дату и увидеть при этом, как должен выглядеть строящийся объект. Можно по мере строительства вносить не только планируемые даты производства работ, но и фактические даты, выявляя отклонения факта от плана, и показывая заказчику, кто конкретно виноват в срыве сроков строительства и перерасходе бюджета. Программа снабжена инструментом контроля качества, и для этого можно делать замеры и выявлять отклонения реального объекта от проекта. Тут следует отметить, что данная программа обязательно должна стать объектом исследования, так как необходимо установить те принципы и алгоритмы, которые заложены в расчеты, связанные с календарным планированием строительства проектируемого объекта.

Navisworks Manage. Эта программа обобщает все предыдущее и добавляет новое. После того как построили недвижимый объект обычно всплывают недостатки или, другими словами, коллизии. Например, выбираем элементы вентиляции и одновременно выбираем все металлические несущие конструкции, указываем допуски и проводим анализ, на основании которого принимается управленческое решение. В программе можно проделать предварительные расчеты безопасности по вылету стрелы крана, имея ввиду то, что она не протаранит что-нибудь, а ее длинные стрелы хватит для доставки груза в нужную точку монтажного горизонта. Можно внедрить человечка и виртуально ходить с ним по объекту, задавать гравитацию, чтобы подниматься и опускаться по лестницам. Можно задавать анимации - подошел к двери, она открылась, ушел - она закрылась. Можно перемещаться с учетом стен, а можно включать опцию *IDDQD* и ходить с ним "через" стены. Получается, что это живой рендер (гид, помощник), работающий в режиме реального времени. Таким образом, можно заключить, что дополнение *Revit-2017* программами *Autodesk NevisWork* дает качественно новый технологический уровень организации строительства вообще и в частности.

1.3.6 Нормативная система исполнительной документации выполняемых работ. Строительное производство представляет собой сложный процесс, правильная реализация которого зависит от результатов действий многочисленных исполнителей. Поэтому разработана целая система обязательной исполнительной регламентации [52]. Состав и порядок ведения исполнительной документации при осуществлении строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства определен Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (РД-11-02-2006).

Исполнительная документация представляет собой текстовые и графические материалы, отражающие фактическое исполнение проектных решений и фактическое положение объектов капитального строительства и их элементов в процессе строительства, реконструкции, капитального ремонта объектов капитального строительства по мере завершения определенных в проектной документации работ. Исполнительная документация ведется лицом, осуществляющим строительство.

Исполнительная документация, оформленная в установленном порядке, является собственным доказательством лица, осуществляющего строительство, подтверждающим соответствие построенного, реконструированного, отремонтированного объекта капитального строительства требованиям технических регламентов (норм и правил)* и проектной документации.

Также регламентированы формы актов освидетельствования скрытых работ, ответственных конструкций и участков сетей инженерно-технического обеспечения установлены Федеральной службой по экологическому, технологическому и атомному надзору (РД-11-02-2006).

Исполнительная документация подлежит хранению у застройщика или заказчика до проведения органом государственного строительного надзора итоговой проверки. На время проведения итоговой проверки исполнительная документация передается застройщиком или заказчиком в орган государственного строительного надзора. После выдачи органом государственного строительного надзора заключения о соответствии построенного, реконструированного, отремонтированного объекта капитального строительства требованиям технических регламентов (норм и правил)*, иных нормативных правовых актов и проектной документации исполнительная документация передается застройщику или заказчику на постоянное хранение.

После выдачи разрешения на ввод объекта в эксплуатацию, исполнительная документация передается застройщиком (заказчиком) собственнику объекта или управляющей компании по поручению собственника для использования в процессе эксплуатации объекта.

В случае непреднамеренной утраты исполнительной документации участниками

строительства, по решению органа государственного строительного надзора разрешается проведение обследования объекта капитального строительства специализированной организацией для проверки соответствия выполненных работ, конструкций, участков сетей инженерно-технического обеспечения требованиям технических регламентов и проектной документации. В случае наличия положительного заключения по результатам такого обследования, восстановление утраченной исполнительной документации не требуется. Приведем начало перечня исполнительной документации.

- Акты освидетельствования скрытых работ.
- Акты освидетельствования ответственных конструкций.
- Акты освидетельствования участков сетей инженерно-технического обеспечения.

Перечисленного вполне достаточно, чтобы сделать вывод о соответствии ведения исполнительной документации и выполнения соответствующих объемов строительных работ. Для автоматизированного учета исполнительной документации необходимо провести ее синхронизацию с календарным графиком работ, формируемым в программе управления проектами.

Выводы по 1 главе

1. Установлено, что различные методы календарного планирования ориентированы на определенную информационную обеспеченность и если это не соблюдается, то данное состояние можно охарактеризовать как информационная недостаточность. С точки зрения описания характера информационной недостаточности можно выделить следующие основные составляющие – это частичное или отсутствие информации, ее противоречивость и неточность.
2. Наличие информационной неполноты приводит к погрешности применяемой системы календарного планирования, что в свою очередь приводит к возникновению риска несвоевременного выполнения как отдельных работ, так и строительства в целом.
3. Для более эффективного противодействия объективного присутствия информационной неполноты требуется разработка новых и совершенствование существующих методов календарного планирования.

2 глава. Экспертные оценки как субъективный источник недостоверной информации, определяющий погрешности планирования и оценки расписаний работ

2.1 Задачи прогноза, основанные на экспертных оценках параметров системы строительного производства

2.1.1 Индексная модель прогноза окончания строительства, связанная с субъективно определенными параметрами. На наш взгляд индексная модель прогнозирования продолжительности строительства является наиболее простой моделью. Упрощенный прогноз своевременности строительства, осуществляемый на основе данной модели, дополнительно усугубляется субъективными оценками, без применения которых модель вообще становится несостоятельной. Приближение значения прогноза к директивной (планируемой) продолжительности авторами статей [53, 54, 55] ассоциировано с приближением строительства к «точке не возврата», переход через которую в будущем приведет объект (комплекс объектов) к несвоевременному вводу в эксплуатацию. Для количественной оценки возможной несвоевременности окончания строительства предложен индексный показатель, определенный в работах [53, 54, 55], как индекс своевременности проекта (ИСП)

$$ИСП = \frac{T_{дир} - T_{прог}}{T_{дир} - T_{текущ}}, \quad (2.1)$$

где $T_{дир}$ —дата директивного окончания строительства;

$T_{прог}$ - дата прогнозируемого окончания строительства;

$T_{текущ}$ — текущая дата мониторинга строительства.

Анализ формулы (2.1) показывает, что расчет по ней актуален до наступления директивного срока окончания строительства, поскольку только тогда ее знаменатель является величиной положительной. При выполнении условия $T_{дир} > T_{прог}$ числитель формулы будет положительным, а при $T_{дир} < T_{прог}$ числитель формулы будет отрицательным. В итоге получается, что именно отрицательные значения ИСП будут характеризовать несвоевременность строительства или другими словами переход через точку не возврата.

Физически индекс ИСП можно охарактеризовать как отношение прогноза резерва времени окончания строительства к оставшейся до директивного срока продолжительности строительства, при этом отрицательный резерв показывает прогноз срыва срока ввода объекта в эксплуатацию. Авторами статей [53, 54, 55] предложено разделить количественный диапазон значений ИСП по так называемому правилу «семафора» на три цветовые градации. В дальнейшем, по их мнению, корректировку выполнения работ в расписании следует осуществлять, когда значение индекса ИСП будет менее чем -15%, а при значении ИСП меньшем чем -30% наступает катастрофа, определяемая как красный уровень опасности (красная зона не возврата). Таким образом, в диапазоне от -15 до -30% необходимо регулирование расписания и для этого диапазона выбран желтый цвет, ассоциированный с предупреждающим сигналом светофора. Приведем таблицу 1 расчетных значений ИСП, представленную в статье [53].

Таблица 2.1

Расчетные значения ИСП хода строительства станции «Новокрестовская»

№	Дата отчета	Дней до завершения проекта	Прогноз сдачи	Отклонение	ИСП, %	ИВП, %
1	05.02.16	329	15.01.17	-16	-4.86	-7.52
2	12.02.16	322	23.01.17	-24	-7.45	-13.38
3	19.02.16	315	22.02.17	-54	-17.14	-9.31
4	26.02.16	308	12.02.17	-44	-14.29	-7.16
5	04.03.16	301	15.02.17	-47	-15.61	-20.73
6	11.03.16	294	31.01.17	-32	-10.88	-18.01
7	18.03.16	287	31.01.17	-32	-11.15	-14.89
8	25.03.16	280	31.01.17	-32	-11.43	-18.90
9	01.04.16	273	12.02.17	-44	-16.12	-4.06
10	08.04.16	266	31.01.17	-32	-12.03	-5.27

На основе данных, представленных в работе [53], ее авторами делается вывод об отсутствии опасности перехода в красную зону не возврата. Также можно заметить, что в результате

мониторинга, проведенного 4 марта 2016 года, потребовалась регулировка строительного производства, после чего индекс своевременности проекта увеличился с -15,61 до -10,88%. Аналогичная ситуация также имела место при переходе с 3-го на 4-й и с 9-го на 10-й этапы мониторинга. Однако при этом открытым, то есть не решенным, остается не менее важный вопрос о вычислении значения прогнозируемой даты окончания строительства.

Другой индекс, предложенный в работах [53, 54, 55] определяет точку не возврата на основе определения объемов выполненных работ. Данный индекс назван индексом выполнения проекта (ИВП) и рассчитывается по следующей формуле:

$$ИВП = \frac{\frac{H_{вып} - H_{план}}{H_{план}}}{\frac{T_{дир} - T_{текущ}}{T_{дир}}}, \quad (2.2)$$

где $T_{дир}$ – дата директивного окончания строительства;

$T_{текущ}$ – текущая дата мониторинга строительства;

$H_{план}$ – планируемый объем работ на текущую дату;

$H_{вып}$ – выполненный объем работ на текущую дату.

Знаменатель формулы (2.2) показывает относительную долю оставшегося времени выполнения до исчерпания директивной продолжительности и поэтому он всегда положительный. Числитель формулы (2.2) показывает относительную долю перевыполнения, запланированного на текущую дату измерения объема выполненных работ. Если имеет место недовыполнение, то числитель формулы и сам индекс ИВП будут отрицательными. В результате индекс ИВП показывает отношение индекса недовыполнения к индексу оставшегося времени. В количественном плане получается, чем ИВП меньше (с учетом знака), тем ситуация с точки зрения несвоевременности выполнения проекта хуже. Для практического использования индекса ИВП авторы работ [53, 54, 55] применили те же, рассмотренные выше, количественные «правила светофора». В последней графе таблицы 2.1 показаны значения индекса ИВП.

Сопоставительный анализ показывает, что желтые зоны, рассчитанные в соответствии с разными индексами, не совпадают и разрешение этой неопределенности требует введения дополнительных правил корректировки хода строительного производства. Вообще с точки зрения здравого смысла такой неопределенности не должно быть, так как прогноз продолжительности должен также базироваться на измерении объемов выполненных работ. При этом рост объема планируемых и выполненных работ в функции времени должен учитывать реальную нелинейность и ее принципиально статистический характер.

2.1.2 Метод критической цепи. В основе метода критической цепи лежат труды Э. Голдратта, Л. Лича, У. Детмера, базирующиеся на теории ограничений, принятая аббревиатура этой теории обозначается как ТОС. Основные предпосылки использования ТОС для метода критической цепи впервые обозначены в книге Э. Голдратта «Цель: процесс постоянного совершенствования», вышедшей в свет в 1984 г. В ТОС, применительно к области управления проектами строительства и построения календарных планов, использованы следующие утверждения:

- 1) «система локальных оптимумов не является оптимальной системой» [57]. В этом утверждении Э. Голдратт делает акцент на ошибочность традиционного подхода к пониманию производительности системы, при котором считается, что максимизация производительности каждой составной части (звена) приводит к максимизации результатов работы всей системы в целом;
- 2) «узкие звенья диктуют уровень связанного капитала и производительности системы» [56], при этом производительность определяется производительностью самого «узкого звена» («бутылочного горлышка»), которое и выступает в роли ограничения. Следовательно, для увеличения эффективности работы достаточно повысить производительность одного звена, что автоматически за счет ускорения прохода через цепь событий уменьшит уровень связанного капитала, а также операционных расходов.

В этой же книге Э. Голдратт формулирует последовательность шагов оптимизации и балансировки работы системы:

Шаг 1. Найти ограничения системы;

Шаг 2. Решить, как эффективно использовать ограничения системы;

Шаг 3. Согласовать все остальные действия с этим решением;

Шаг 4. Повысить пропускную способность ограничения;

Шаг 5. Если на предыдущем этапе узкое звено было устранено, то вернуться к шагу 1 [56, 57].

Теория ограничений относится к категории методов, построенных на логических процедурах, среди которых *ЛИТ* («точно вовремя») и *TQM* (тотальное управление качеством) [58]. Основная причина, приводящая к срыву сроков сдачи проектов, превышению бюджета и урезанию содержания, а, следовательно, и снижению дохода от их реализации – это неопределённость факторов и условий, в которых будет осуществляться проект [58]. Э. Голдратт называет эту причину законом «Мерфи», определяющим следующий фатальный исход: «*Whatever can go wrong, will*» [21] (все, что может пойти неправильно, обязательно пойдет неправильно).

По наблюдениям Э. Голдратта на практике люди всегда стремятся учесть эту неопределенность путем заложения подстраховки при оценке длительности операций, которая может достигать 200% [58]. Тем не менее, успешно, т.е. в срок и с соблюдением плановых показателей рентабельности, заканчивается только 1/3 проектов [59]. Усиление действия законов Мерфи происходит из-за действия следующих причин:

- 1) потери сфокусированности (направленности) исполнителей из-за одновременного выполнения и контроля нескольких задач [58]. Многозадачность ведет к увеличению длительности работы по причине «перепрыгивания» от одного процесса к другому. Л. Лич приводит пример, когда исполнитель в течение дня последовательно работает над тремя задачами, продолжительность каждой из которых при условии непрерывности составляет одну неделю. При ежедневном одновременном выполнении трех процессов их длительность увеличивается до трех недель [59], что провоцирует запаздывание и последующих связанных задач. К этому следует добавить и время на возвращение к процессу после его остановки, т.е. на восстановление подробностей, особенно если задачу сопровождает сложная мыслительная работа;
- 2) дефекта применяемого контрольного механизма, измеряющего прогресс (мониторинг) проекта [58]. Традиционный отчет о ходе реализации проекта, как правило, отражает следующую закономерность: первые 90% работы отнимают 10% времени, а последние 10% – оставшиеся 90% времени. При данной ситуации своевременное обнаружение мест проекта, где проявился закон Мерфи и где требуется проведение корректирующих мероприятий, невозможно;
- 3) студенческого синдрома: «спешить некуда, поэтому начинаем в последнюю минуту» [58]. Когда человек считает, что на выполнение задачи достаточно времени, исчезает мотивация к немедленному началу процесса. Резерв исчерпывается до того, как начинается работа, и проявление закона Мерфи в дальнейшем компенсировать не удастся, а это приводит к запаздыванию проекта;
- 4) действия закона Паркинсона: «работа расширяется, чтобы заполнить все время, остающееся до ее завершения» [60]. Э. Голдратт замечает: «При последовательных элементах отклонения по времени не усредняются. Опоздания аккумулируются, в то время как выигрыши по времени не аккумулируются» [59]. Исполнитель, завершивший задачу ранее обозначенного срока, никогда об этом не заявляет, а предпринимает действия по улучшению выполненной работы и сдаче результатов согласно плану. По-другому проявляют себя запаздывания, которые накапливаются от звена к звену. Следствие: дата завершения проекта отодвигается на сумму этих запаздываний.

Приведенные факторы приводят к полному расходованию заложенной в проект подстраховки задолго до даты его завершения. Поэтому для управления проектами и снижения влияния негативных причин Э. Голдратт предложил использовать метод критической цепи (*Critical Chain Project Management – CCPM*).

Ограничением проекта, его узким звеном, является критический путь, определяемый самой длинной последовательностью работ проекта, которые не имеют резерва времени. Таким образом, в основе критического пути лежат ограничения по времени, predetermined исключительно технологическими связями задач. При этом данные ограничения никак не учитываются зависимости выполняемых работ с точки зрения их исполнителей. В случае если ресурс занят на одном некритическом пути, а параллельно его участие требуется и на другом некритическом пути, провоцируется опоздание, которое приводит к изменению критического пути. Т.е. даже если элементы в составе проекта не связаны технологически, они могут оказаться зависимы от одного общего ресурса.

Связи работ с точки зрения и технологии, и исполняющего ресурса учитываются в критической цепи. Э. Голдратт определяет ее, как самую длинную цепь, состоящую из отрезков,

зависящих от пути, и отрезков, зависящих от ресурса [58]. В результате основное отличие метода критического пути от метода критической цепи состоит в том, что в критическом пути неопределенность учтена внутри каждой задачи, а в критической цепи вынесена отдельно в конец проекта (рисунок 2.1). При этом необходимо отметить, что если в проекте нет ограничения по ресурсам (исполнителям), то критический путь и критическая цепь совпадают.

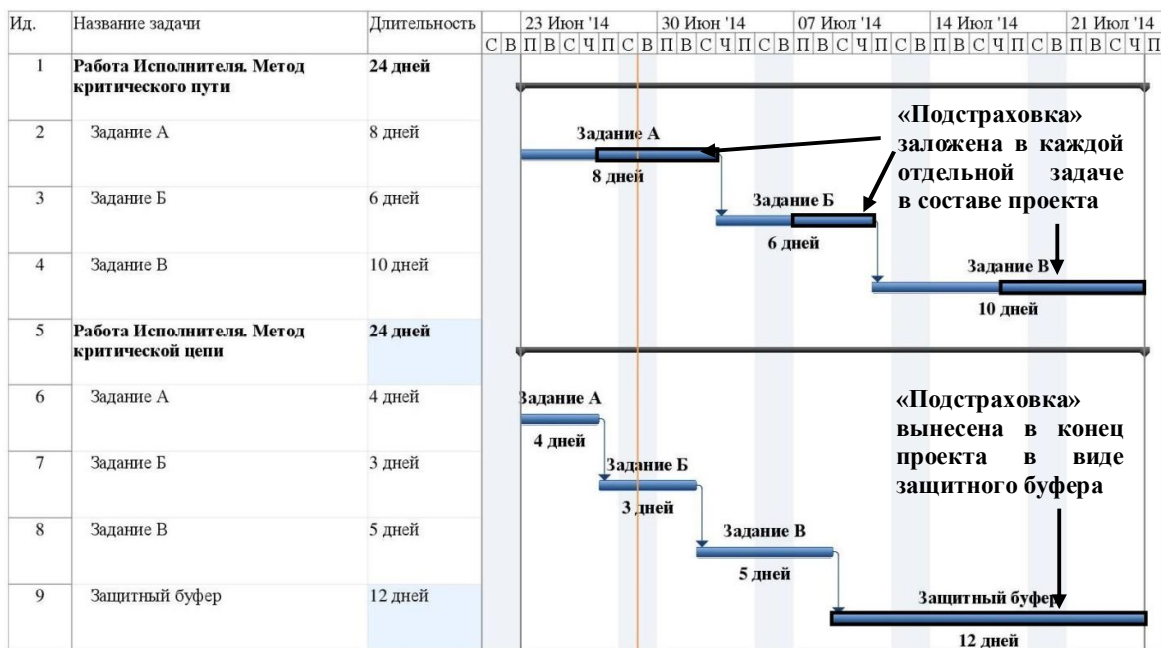


Рисунок 2.1 Графическое сравнение методов критического пути и критической цепи

Сравнение методов критического пути и критической цепи по ряду показателей приведено в таблице 2.2. Надежность даты завершения проекта в CCPM обеспечивается добавлением в график буферов, защищающих критическую цепь от воздействия законов Мерфи.

Таблица 2.2

Сравнение методов критического пути и критической цепи

№ п/п	Наименование показателя сравнения	Метод критического пути	Метод критической цепи
1	Определение	Критический путь – самая длинная последовательность зависимых элементов проекта, которые не имеют резерва времени	Критическая цепь – самая длинная последовательность зависимых элементов проекта, состоящая из отрезков, не имеющих резерва времени с учетом ограничений по использованию ресурсов
2	Статичность ограничения	Критический путь может меняться в течение реализации проекта в зависимости от фактических дат завершения той или иной задачи	Критическая цепь не меняется в течение реализации проекта
3	Фиксируемые даты	Критический путь определяет даты начала и окончания проекта	Критическая цепь фиксирует только дату завершения проекта (после добавления проектного буфера). Начало проекта может определяться и некритической задачей

4	Определение продолжительности задач	Продолжительность задач оценивается расчетным или экспертным методом с учетом "подстраховки" на основании предыдущего негативного опыта	Продолжительность задач, определенная расчетным или экспертным методом с учетом "подстраховки" на основании предыдущего негативного опыта, сокращается на 50%
5	Учет неопределенности	Неопределенность учитывается косвенным образом при определении продолжительности каждой отдельной задачи	Неопределенность учитывается в явном виде в питающих буферах и проектном буфере
6	Управление календарным планом	Чтобы проект реализовывался в соответствии с графиком каждая отдельная задача должна выполняться в установленные сроки	Чтобы проект реализовывался в соответствии с графиком необходимо контролировать защитные буферы проекта, которые поглощают коэффициент неопределенности каждой отдельной задачи
7	Контроль календарного плана	Отслеживаются даты начала и окончания каждой задачи. На дату завершения проекта влияет каждое опоздание, поэтому их необходимо внимательно отслеживать	Даты начала и окончания отдельных задач не принципиальны. Необходимо внимательно отслеживать состояние защитных буферов и активность их расходования
8	Оценка прогресса проекта	Для оценки прогресса проекта на определенную дату используется фиксированная дата завершения той или иной стадии проекта (веха)	Все даты завершения той или иной стадии проекта (вехи) являются плавающими. Для оценки прогресса достаточно определить находится ли этап в стадии завершения, а также проанализировать расход защитного буфера для обозначения вероятности завершения этапа к определенной дате
9	Резервы времени на некритических путях	Резервы времени, которые имеются на некритических путях, не важны и не отслеживаются	Для защиты критической цепи некритические пути должны иметь питающие буферы, статус которых постоянно отслеживается
10	Отношение к многозадачности	Прогресс каждого реализуемого проекта (задачи) важен, поэтому режим многозадачности при использовании ресурсов сохраняется	Многозадачность в работе ресурсов ограничивается вплоть до задержки начала реализации других параллельных проектов (задач)

В ССРМ предполагается два вида буферов:

- 1) буфер на слияние путей, который добавляется в месте впадения некритической цепи в критическую цепь. Это обеспечивает своевременное начало работ на этапе в составе критической цепи в случае возникновения сбоя на некритическом элементе;
- 2) проектный буфер, размещаемый в конце проекта. Он позволяет компенсировать опоздания, проявившиеся на критической цепи.

В зависимости от принятой топологии вариантов критической цепи в составе одного проекта может быть несколько. Сравнение нескольких вариантов простого календарного плана строительства двух коттеджей с укрупненной разбивкой работ на 6 этапов показало, что метод критической цепи позволяет сформировать график, который будет на 16% эффективнее метода критического пути (рисунки 2.2 и 2.3).

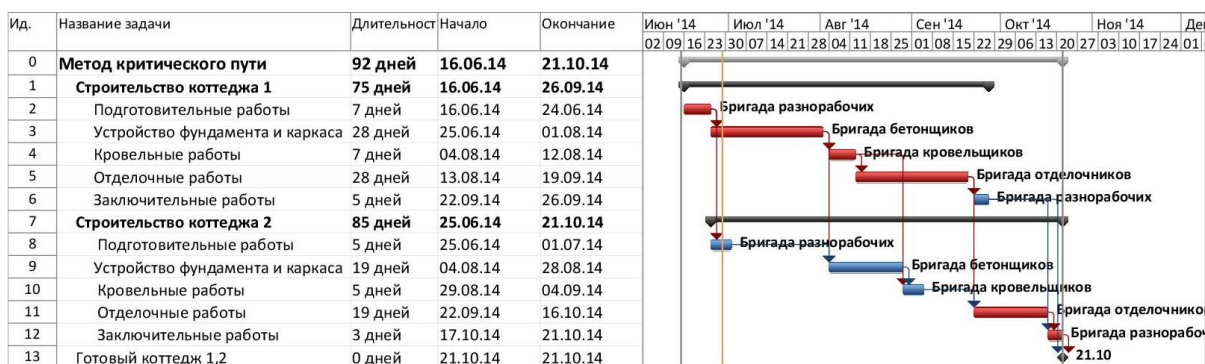


Рисунок 2.2 График проекта по методу критического пути

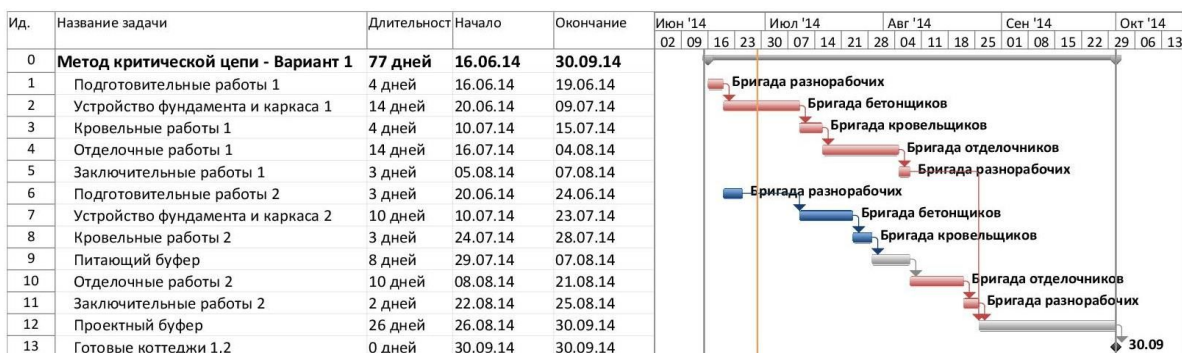


Рисунок 2.3 График проекта по методу критической цепи

Разброс значений при сопоставлении графиков по методу критической цепи в зависимости от варианта №1 устранения конфликта ресурсов не превышает 4%. Результаты сравнения отображены в таблице 2.3.

Таблица 2.3

Сравнение графиков, сформированных по методу критического пути и критической цепи

Наименование	Кол-во дней
Метод критического пути	
До выравнивания ресурсов	75
После выравнивания (по двум вариантам – с помощью встроенной функции MS Project)	92
Метод критической цепи	
Выравнивание с помощью встроенной функции MS Project (вариант 1)	77
Сопоставление графиков по методу критической цепи	
Сравнение - вариант 1	4%
Сравнение метода критического пути и метода критической цепи (по максимальным значениям)	16%

По результатам представленного примера можно сделать следующие выводы.

- Метод критического пути учитывает ограничение проекта по времени, но не принимает во внимание ограничения по ресурсам (исполнителям), при аналогичном применении метода критической цепи зафиксировано улучшение календарного плана на 16%.
- Традиционные методы календарного планирования проектов плохо справляются с решением главной задачи, заключающейся в противодействии неопределенным проектно-строительным ситуациям, особенно в области прогнозирования своевременного завершения строительства.
- Недостаток метода критической цепи является достаточно произвольное количественное определение объемов работ, помещаемых в буферы.
- Другим недостатком рассмотренного метода является то, что в организованные буферы включаются все объемы работ без учета топологии их выполнения.

Таким образом, получается, что методом критической цепи можно повысить организационно-технологическую надежность в первую очередь за счет повышения интенсивности выполнения основной части календарного графика, а во вторую очередь за счет буферизированных объемов работ. Но, для расчета прогноза окончания строительства этих данных явно недостаточно.

2.1.3 Постановка задачи прогноза, основанной на адаптации к модели «о гибели и размножении». В отличие от интегрального учета отказа, определяемого индексным методом, в работе [20] предложено дифференцировать отказы по их влиянию на процент отклонения от директивного срока. По данным этой работы формализованное описание системы строительного производства базируется на выделении 5 уровней (состояний), определяющих относительное превышение планируемой продолжительности строительства на 0, 5, 20, 50 и 100 процентов. Комбинаторный анализ показал, что для пяти выделенных уровней множество переходов между разными состояниями системы определяется количеством парных сочетаний, то есть числом десять. Интенсивности переходов от меньшей несвоевременности к большей устанавливаются эмпирически, и определяются факторами увеличения продолжительности строительства, для которых в работе [20] использована аббревиатура ФУПС. Обратные переходы от большей несвоевременности к меньшей определены как факторы парирования отказов, для которых в дальнейшем будет использована аббревиатура ФПО.

Положив в основу задачи статистические данные по частоте отказов, связанных с переходами системы в состояния из большей несвоевременностью, авторы работы [20] формализовали задачу прогноза посредством сведения ее к задаче «о гибели и размножении», предложенной академиком Колмогоровым [61]. Изначально данная задача была поставлена для расчета численности популяций в биологических системах. Применительно к расчету прогноза окончания строительства «гибелью» можно считать переход от меньшей несвоевременности к большей, а «размножением» можно считать переход от большей несвоевременности к меньшей.

При постановке данной задачи авторы работы [20] посчитали, что переходы с нижнего уровня на более высокий уровень несвоевременности, которые по другой терминологии являются отказами системы строительного производства, относятся к редким явлениям, и для их описания может быть использовано распределение Пуассона [27].

$$P_m = \frac{(\lambda \tau)^m}{m!} e^{-\lambda \tau} \quad (2.3)$$

где: λ – интенсивность потока отказов во времени;

τ – время, определяющее число отказов;

m – количество отказов, на которые рассчитывается вероятность.

Как следует из формулы (2.3) основным параметром, определяющим распределение Пуассона, является средняя интенсивность появления отказов. А так как причины отказов могут существенно отличаться, то и применимость формулы (2.3) для расчета прогноза несвоевременности строительства в определенной степени ограничена. Это связано с предположением об аддитивности несвоевременности в зависимости от числа отказов, без анализа разнообразия причин их возникновения. Считается, что каждый отказ увеличивает общую несвоевременность на одну и ту же постоянную величину Δ . Тогда, рассчитав по формуле (2.3) вероятность возникновения m отказов, прогноз продолжительности строительства будет соответствовать увеличению несвоевременности $m \times \Delta$ единиц времени. Однако сами авторы работы [20] экспериментально установили, что в системе строительного производства существуют разнородные отказы, и это обстоятельство представили в таблице 2.4.

Таблица 2.4

Дифференцированная статистика отказов по данным статьи [20].

Ранг особой ситуации	Количество отказов по основным компонентам, шт.					Сумма отказов по рангам
	здание	персонал	машины и механизмы	окружающая среда	организация и обеспечение строительства	
ФУПС 5	4	69	56	28	44	201
ФУПС 20	14	22	34	12	4	86
ФУПС 50	8	12	9	2	16	47
ФУПС 100	3	4	6	0	10	23
Сумма отказов	29	107	105	42	74	357

Однако, несмотря на отмеченный недостаток, полезность использования формулы (2.3) заключается в том, что она подтверждает факт, свидетельствующий об уменьшении вероятности больших несвоевременностей по сравнению с малыми отклонениями от плановых продолжительностей.

В таблице 2.4 показана количественная дифференциация каждого класса отказов и при этом логика представленных обозначений сводится к следующему. Отказы, увеличивающие общую продолжительность строительства на 5%, определены как ФУПС5, на 10% определены как ФУПС10 и так далее. При этом физический смысл количественного критерия ФУПС5 заключается в том, что если для возводимого здания продолжительность работ, рассчитанная по критическому пути, составляет 100 рабочих дней, то в системе перехода в различные состояния рассматривается вероятность фактической продолжительности работ, которая превышает ее расчетное значение на 5 %, что составляет 105 рабочим дням. Вместе с этим авторы работы [20] считают, что принятое количество состояний графа, равное пяти, представляется рациональным компромиссом между необходимой точностью и сложностью вычислений, необходимых для получения решения задачи.

Результат решение общей задачи «о гибели и размножении» сводится к расчету вероятностей нахождения системы строительного производства в разных состояниях, что дает возможность определения среднего значения прогноза несвоевременности и его погрешности. Для этого рассчитываются интенсивности переходов между состояниями системы, которые в работе [20] представляются в виде произведений $\lambda_i \cdot r_{ij}$. Исходной базой расчета данных произведений являются данные по статистике отказов, представленные в последнем столбце таблицы 2.4.

$$\lambda_i r_{ij} = \frac{N_i N_j}{T \sum_{k=j-1}^3 N_k}, \quad (2.4)$$

где i – индекс, определяющий начальное состояние системы строительного производства, из которого в результате воздействия N_i отказов система переходит в состояние с большей несвоевременностью (изменяется от 0 до 3);

j – индекс, определяющий конечное состояние системы, в которое она должна перейти из-за воздействия отказов (изменяется от 1 до 4 и при этом всегда $j > i$);

T – время, в течение которого зарегистрированы отказы, представленные в таблице 2.4 (определено 252 рабочих дня).

Решение задачи прогноза продолжительности строительства для любого момента времени состоит в определении вероятности выделенных состояний строительства объекта. При этом уравнения Колмогорова составляются с учетом следующего правила: производная вероятности любого состояния системы равна сумме потоков вероятности, которые переводят систему в это состояние, минус сумма всех потоков вероятности, выводящих систему из этого состояния [61].

Для наглядного показа функционирования системы строительного производства в работе [20] представлена графическая модель (см. рисунок 2.4), которая описывает протекание процессов перехода между различными состояниями, определенных как марковские процессы. Особенности учета статистики парирования отказов, связанных с множителями μ_{ji} рассмотрим в следующем пункте.

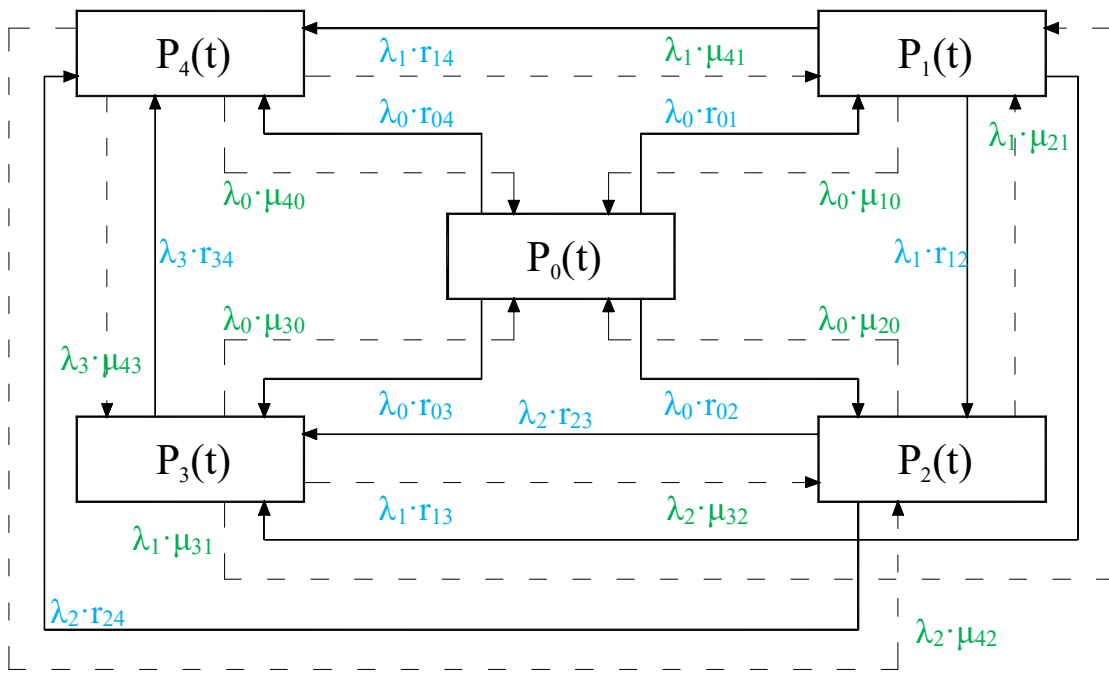


Рисунок 2.4 – Граф переходов между 5-ю состояниями несвоевременности.

Граф состояний, представленный на рисунке 2.4, характеризует систему строительного производства, в которой протекает случайный процесс, определяемый выполнением работ, входящих в критический путь. Система дифференциальных уравнений для расчета прогноза состояния системы строительного производства, представленная в работе [20], имеет следующий вид:

$$\begin{cases}
 -(\lambda_0 \cdot r_{01} + \lambda_0 \cdot r_{02} + \lambda_0 \cdot r_{03} + \lambda_0 \cdot r_{04}) \cdot P_0(t) + \lambda_0 \cdot \mu_{10} \cdot P_1(t) + \\
 + \lambda_0 \cdot \mu_{20} \cdot P_2(t) + \lambda_0 \cdot \mu_{30} \cdot P_3(t) + \lambda_0 \cdot \mu_{40} \cdot P_4(t) = P_0'(t); \\
 \lambda_0 \cdot r_{01} \cdot P_0(t) - (\mu_{10} + \lambda_1 \cdot r_{12} + \lambda_1 \cdot r_{13} + \lambda_1 \cdot r_{14}) \cdot P_1(t) + \lambda_1 \cdot \mu_{21} \cdot P_2(t) + \\
 + \lambda_1 \cdot \mu_{31} \cdot P_3(t) + \lambda_1 \cdot \mu_{41} \cdot P_4(t) = P_1'(t); \\
 \lambda_0 \cdot r_{02} \cdot P_0(t) + \lambda_1 \cdot r_{12} \cdot P_1(t) - (\lambda_0 \cdot \mu_{20} + \lambda_1 \cdot \mu_{21} + \lambda_2 \cdot r_{23} + \lambda_2 \cdot r_{24}) \cdot P_2(t) + \\
 + \lambda_2 \cdot \mu_{32} \cdot P_3(t) + \lambda_2 \cdot \mu_{42} \cdot P_4(t) = P_2'(t); \\
 \lambda_0 \cdot r_{03} \cdot P_0(t) + \lambda_1 \cdot r_{13} \cdot P_1(t) + \lambda_2 \cdot r_{23} \cdot P_2(t) - \\
 - (\lambda_0 \cdot \mu_{30} + \lambda_1 \cdot \mu_{31} + \lambda_2 \cdot \mu_{32} + \lambda_3 \cdot r_{34}) \cdot P_3(t) + \lambda_3 \cdot \mu_{43} \cdot P_4(t) = P_3'(t); \\
 \lambda_0 \cdot r_{04} \cdot P_0(t) + \lambda_1 \cdot r_{14} \cdot P_1(t) + \lambda_2 \cdot r_{24} \cdot P_2(t) + \lambda_3 \cdot r_{34} \cdot P_3(t) - \\
 - (\lambda_0 \cdot \mu_{40} + \lambda_1 \cdot \mu_{41} + \lambda_2 \cdot \mu_{42} + \lambda_3 \cdot \mu_{43}) \cdot P_4(t) = P_4'(t).
 \end{cases} \quad (2.5)$$

Для получения расчетных значений вероятностей, определяющих заданные состояния системы строительного производства: $P_0(t)$, $P_1(t)$, $P_2(t)$, $P_3(t)$, $P_4(t)$, использован метод Рунге–Кутты. Он позволяет получить решение системы уравнений для любых фиксированных моментов времени t . Применение метода Рунге–Кутты требует задания начальных условий для всех искомых функций, входящих в систему (2.5), то есть на момент времени t_0 , должны быть заданы значения вероятностей $P_0(t_0)$, $P_1(t_0)$, $P_2(t_0)$, $P_3(t_0)$ и $P_4(t_0)$.

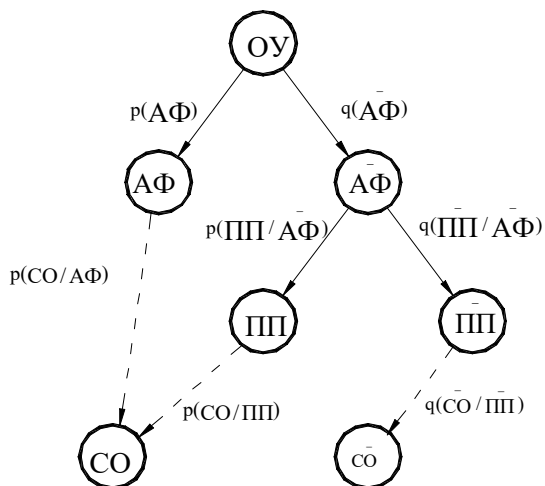
Анализ общей постановки задачи прогноза показывает, что, несмотря на учет различных источников возникновения задержки строительства, их дифференциация полностью исчезает, так как при расчете интенсивностей отказов учитывается только их общее суммарное количество без каких-либо весовых коэффициентов. Второе замечание, ставящее под сомнение расчетный результат прогноза, заключается в следующем. Если для одного и того же множества данных, которые должны инвариантно определять общую несвоевременность строительства, увеличить число уровней состояния системы строительного производства, то расчетная система уравнений существенно

расширится, так как возрастет число переменных и параметров в каждом уравнении, а также возрастет и количество уравнений. В результате решение новой системы дифференциальных уравнений приведет к другому результату. В итоге имеет место парадоксальная ситуация, заключающаяся в том, что исходные данные, которые должны инвариантно определять отказы, приводят к неоднозначному результату прогноза, так как полученный результат будет зависеть от субъективно назначенного числа уровней системы строительного производства. Третье замечание связано с тем, что при детальном рассмотрении анализируемого подхода имеют место субъективно определяемые параметры, погрешности в которых также влияют на прогноз продолжительности строительства.

2.1.4 Верификация прогноза, основанного на модели «о гибели и размножении». Наиболее важной количественной характеристикой факторов увеличения продолжительности строительства является определение приращения времени, которое потребовалось бы для реализации строительного процесса сверх времени, предусмотренного графиком строительства, для чего в работе [20] введен термин особая ситуация. При этом следует отметить, что в действующей нормативной базе отсутствуют определение и количественная характеристика особых ситуаций функционирования системы строительного производства, возникающих при появлении факторов увеличения продолжительности строительства.

В работе [62] представлены классификационные характеристики факторов возникновения особых ситуаций в строительстве, а на рисунке 2.5. в форме графа показаны последовательности развития особых ситуаций, приводящих к различным результатам. Например, если реализуется вероятность не проявления особой ситуации как негативного фактора, то система строительного производства будет определяться планируемой своевременностью строительства. В противном случае потребуется некоторое управленческое усилие, которое нейтрализует влияние фактора увеличения продолжительности строительства, названное авторами рассматриваемого метода парированием. Если же парирование произошло, то система строительного производства также будет определяться планируемой своевременностью строительства. Но если парирования не было своевременно применено к системе строительного производства или для данного отказа его применение оказалось невозможным, то система переходит в состояние несвоевременного окончания строительства. Поэтому можно считать, что отображенная на рисунке 2.5 классификация отказов достаточно полна, поскольку ее дифференциация ориентирована на ведение мониторинга строительства, и она позволяет классифицировать источник возникновения нештатной ситуации и сосчитать количество отказов, с ним связанных.

Количественное определение данных параметров может базироваться на статистическом и экспертном подходах, каждый из которых имеют свои достоинства и недостатки.



Принятые состояния:

ОУ – ССП функционирует в ожидаемых условиях

АФ – непроявление негативного фактора

ПП – парирование негативного фактора

СО – своевременное окончание строительства

$\bar{A}\Phi$ – проявление негативного фактора

$\bar{P}P$ – непарирование негативного фактора

$\bar{C}O$ – несвоевременное окончание строительства

————→ зависимые события

-----→ независимые события

Рисунок 2.5. Граф последовательности развития особой ситуации

К достоинствам статистического подхода следует отнести генерацию множества вариантов календарных графиков и на основе этого множества определить стохастические характеристики многочисленных итоговых технико-экономических параметров. Однако такой детальный анализ требует соответствующих исходных данных, которые могут либо отсутствовать, либо иметь статус неактуальных. В частности, если изменяется топология календарного графика, то вряд ли можно использовать априорно сделанные статистические выводы для будущего прогноза.

Вместе с этим статистика исследований различных факторов строительства, которые привели к проявлению особых ситуаций, показывает, что итоговая несвоевременность практически никогда не бывает следствием какого-либо одного фактора, а происходит в результате взаимодействия нескольких различных неблагоприятных ситуаций. Экспертный метод оценки статистических характеристик является более универсальным, поскольку он опирается на мнение специалистов, которые внутренне оценивают изменяющуюся ситуацию, но эти мнения, несмотря на их универсальность, носят субъективный характер. Положительным же моментом экспертного метода является оценка особых ситуаций теми специалистами, которые непосредственно участвуют в планировании и управлении строительством конкретного объекта. Однако методика расчета погрешности экспертной оценки в работе [20] отсутствует.

В таблице 2.5 представлены методические правила определения параметров отказов, используемые авторами статьи [20].

Таблица 2.5

Методические правила определения параметров отказов

Элементы ССП	Методические правила определения параметров отказов
Человек-оператор (машинисты средств механизации, персонал служб диспетчеризации и управления строительства, технического обслуживания, средств механизации)	– Использование для практических расчетов результатов корреляционного анализа или экспертных оценок; – Моделирование действий строительного и технического персонала, как функции «человек-оператор» в условиях дифференциального воздействия временных или квалификационных ограничений при повышенных психофизиологических, социальных экономических и иных уровнях нагрузки или воздействиях внешних факторов со стороны искусственной и естественной окружающей среды.
Искусственная и естественная окружающая среда	– Использование зафиксированных результатов реального негативного воздействия компонентов окружающей среды на техническое состояние функциональных систем машин и механизмов, а также персонала, занятого подготовкой, обслуживанием и эксплуатацией строительной техники; – Численное или численно-аналитическое моделирование при негативном воздействии окружающей среды.
Машины и механизмы, технические и механические функциональные системы, средства сигнализации, автоматического срабатывания, прочие технические устройства, применяемые при строительстве	– Вероятностный анализ отказов методом математического моделирования с использованием дерева отказов; – Анализ надежности на основании статистических данных о количестве отказов данной конкретной системы за фиксированный период эксплуатации, количестве произведенных ремонтов, текущего состояния системы или прогнозной модели, построенной на основании этих данных; – Принятие в качестве расчетного значения вероятности, указанной в техническом паспорте изделия (системы) или составляющих ее компонентов; – Принятие в качестве расчетного значения, полученного в результате анализа практической эксплуатации данной системы или ее аналогов на других машинах и механизмах этого типа; – Использование для практических расчетов результатов корреляционного анализа или экспертных оценок; – Численное или численно-аналитическое моделирование протекания аварийных процессов в системах; – Принятие директивного значения, обоснованного техническими, экономическими или иными факторами.

Анализ содержания таблицы 2.5 показывает, что авторами работы [20] предлагаются не отдельные конкретные правила, предназначенные для формирования статистики отказов, а целый комплекс возможных экспертных и статистических методов. Поэтому можно с уверенностью заключить, что при практическом использовании таких рекомендаций будет гарантировано иметь место информационная не полнота.

Рассмотрим определение параметров, входящих в систему уравнений (2.5), которые влияют на результат прогноза. Интенсивности отказов, переводящих систему в состояния с относительным превышением плановой продолжительности, рассчитываются по формуле (2.4), представленной выше. В эту формулу вошло значение 252 рабочих дня, определяющее мониторинговое время фиксации отказов, соответствующее календарному году. Но очевидно, что за этот (уже прошедший) год выполнялись и такие работы, которые не будут выполняться в будущем. Поэтому возникает сомнение в экстраполяции этих данных на прогнозируемый период. В результате предположение о реализации в данной задаче марковского процесса является, на наш взгляд, несостоятельной гипотезой.

Далее обратим внимание на следующее обстоятельство. В результате отказов система может перейти из принятого начального состояния в любое конечное состояние с интенсивностью $\lambda_i \cdot r_{ij}$. Сумма всех интенсивностей будет равна отношению общего числа отказов, равное 357 за время их фиксации, определенное как 252 рабочих дня. Общая же сумма числа парирования отказов, представленная в таблице 2.6, гораздо меньше и равна 129 случаям.

Таблица 2.6

Пример экспертной статистики парирования отказов

Ранг особой ситуации	Количество парированных особых ситуаций, шт.					Сумма парирования отказов по рангам
	здание	персонал	машины и механизмы	окружающая среда	организация и обеспечение строительства	
ФУПС 5	1	18	30	12	30	91
ФУПС 20	4	4	6	3	1	18
ФУПС 50	3	1	2	0	4	5
ФУПС 100	1	2	1	0	6	10
Суммы	9	25	39	15	41	129

При таком же времени сбора статистической информации суммарная интенсивность парирования отказов будет равна 0,511 1/р.д. Однако расчет суммы парирования отказов μ_{ji} , значения которых представлено в работе [20], оказался равным 1,396. Аналогичное противоречие можно найти и в системе уравнений (2.5), в которой присутствуют члены типа $\lambda_i \cdot \mu_{ji}$, физический смысл которых совершенно не ясен.

Допустим, что в процессе выполнения конкретной работы произошел отказ, а через некоторое достаточно небольшое время произошло полное парирование отказа. Следовательно, произошла аннигиляция этих случаев и поэтому они не должны войти в общую статистику. Однако если отказ произошел при выполнении одной работы, а парирование возникшей несвоевременности должно осуществиться в процессе выполнения другой работы за счет ее корректировки, то оба события могут считаться независимыми и они должны быть включены в общую статистику. В этом примере принципиально и то, что парирование отказов является объектом управления строительным производством и не может быть определено априори, то есть до процесса самого строительства. Поэтому статистика парирования отказов может быть сформирована только на основе экспертного оценивания, осуществляемого в процессе оперативного управления строительным производством.

Приведенные замечания приводят к тому, что расчетную систему прогноза, определенную уравнениями (2.5) необходимо заменить более адекватной системой дифференциальных уравнений.

$$\begin{aligned}
 P_0' &= -(R_{01} + R_{02} + R_{03} + R_{04})P_0 + M_{10}P_1 + M_{20}P_2 + M_{30}P_3 + M_{40}P_4 \\
 P_1' &= R_{01}P_0 - (M_{10} + R_{12} + R_{13} + R_{14})P_1 + M_{21}P_2 + M_{31}P_3 + M_{41}P_4 \\
 P_2' &= R_{02}P_0 + R_{12}P_1 - (M_{20} + M_{21} + R_{23} + R_{24})P_2 + M_{32}P_3 + M_{42}P_4 \\
 P_3' &= R_{03}P_0 + R_{13}P_1 + R_{23}P_2 - (M_{30} + M_{31} + M_{32} + R_{34})P_3 + M_{43}P_4 \\
 P_4' &= R_{04}P_0 + R_{14}P_1 + R_{24}P_2 + R_{34}P_3 - (M_{40} + M_{41} + M_{42} + M_{43})P_4
 \end{aligned} \tag{2.6}$$

где

$$R_{ij} = \frac{N_i N_j}{T \sum_{k=j-1}^3 N_k},$$

$$M_{ij} = \frac{S_i S_j}{T \sum_{k=j-1}^3 S_k},$$

S – представляет множество статистических данные по парированию отказов.

Таким образом, все параметры, входящие в систему дифференциальных уравнений (2.6), определены, а их конкретные численные значения могут быть рассчитаны исходя из приведенных в работе [20] данных последних столбцов таблиц 2.4 и 2.6.

Однако возникает вопрос, а как правильно определить категорию отказа, помещаемого, например, в таблицу 2.4? Допустим на начальном этапе строительства можно предположить, что система строительного производства находится в нулевом состоянии, то есть все идет по плану. В какой-то момент времени произошел сбой в работе строительной машины. Как определить, что именно этот отказ увеличит будущую несвоевременность на 5, 20, 50 или 100 процентов? Другой, такой же по важности, вопрос связан с определением текущего состояния системы строительного производства. Ведь в таблице 2.4 классификация отказов явно привязана к этому параметру системы. Без методики определения текущего состояния системы строительного производства для анализируемого метода также характерно наличие информационной неполноты.

Также вызывает критику анализируемого метода и принятия неравномерной шкалы, причем используемая неравномерность относится как к абсолютным значениям задержки строительства, так и к их относительным величинам. Допустим, что в некоторый момент времени система строительного производства находилась в нулевом состоянии, а в результате приемки выполненной критической работы потребовалась ее переделка, составляющая 10 дней, которые увеличили общую продолжительность строительства менее, чем на 5 процентов. В этом случае выявленный отказ, согласно принятых в методе правил заполнения отказов, должен попасть в строку таблицы 2.4 с наименованием ФУПС5. В системе дифференциальных уравнений типа (2.5) или (2.6) это обстоятельство увеличит поток вероятности, переводящий систему в 1-е состояние. Если такая же ситуация будет иметь место при нахождении системы строительного производства во втором состоянии, то аналогичный отказ должен быть помещен с строку таблицы 2.4 с наименованием ФУПС100. Это в свою очередь увеличит поток вероятностей в системе дифференциальных уравнений, переводящий систему в 4-е состояние. Таким образом, получается, что практически один и тот же отказ переводит систему к относительному запаздыванию на 5% и на 100%.

Подводя итоги анализируемого метода, и суммируя все выше изложенное, можно заключить, для данного метода предсказания продолжительности строительства невозможно обеспечить необходимую информационную полноту, и, следовательно, его использование в ходе оперативного управления строительством несостоятельно. И поскольку существенным обстоятельством в определении информационной неполноты является отсутствие методики определения погрешности при экспертной оценке, то в следующем параграфе изложим авторские разработки по данному вопросу.

2.2 Модель оценки погрешностей при экспертной оценке значимостей методов прогноза

2.2.1 Модель стохастической квалитетрии. Обобщающая технико-экономическая оценка календарных планов строительства включает в себя ряд показателей, характеризующих их отдельные свойства, например, продолжительность строительства, общие трудозатраты, число рабочих в наиболее загруженную смену и т.д. и т.п. Обычно каждый отдельный показатель может быть сопоставлен с некоторой нормой таким образом, что, с одной стороны, он может быть интерпретирован в шкале «лучше - хуже», а с другой стороны может быть представлен в относительном (безразмерном) виде. Если к этому добавить требование нормировки на одинаковый диапазон изменения значений показателей, то создается вполне состоятельная база для расчета обобщающего (средневзвешенного) показателя, представляющего аддитивную свертку произведений весов и соответствующих значений относительных показателей. Такая база широко используется для

экспертного оценивания календарных планов строительства [63, 64], а формула расчета аддитивного показателя K обычно представляется следующим выражением

$$K = \sum K_i \cdot W_i, \quad (2.7)$$

где K_i , W_i – дифференциальные показатели качества и их веса.

При рассмотрении вопроса оценки весов отдельных критериев используются различные методы экспертных оценок, существо которых в основном зависит от особенностей применяемых измерительных шкал. Например, в теории измерений [50] рассматриваются и анализируются 5 основных шкал: классификационная, порядковая (или ранговая), сдвигов, отношений и абсолютная шкала. Из этого списка для рассматриваемой нами задачи актуальными являются 2 шкалы: ранговая и отношений.

Ранговая шкала оперирует отношениями объектов, для которых имеют значения высказывания типа: лучше, хуже, меньше, больше и др. аналогичные, оперирующие порядком расположения объектов в соответствии с их предпочтительностью. А наиболее используемой в технике является шкала отношений, по которой определяется какое количество, некоторой меры, содержится в измеряемой величине. В стохастической квалиметрии [64] расчет значимостей критериев использует шкалу отношений, а вербальная оценка соотношений осуществляется в порядковой шкале, которая при парном сравнении весов [65] позволяет оценить соотношения весов в виде неравенств. Такое представление как раз и является источником погрешности аддитивного показателя качества. Понятно, что в практическом плане обоснованное определение погрешностей оценки дает возможность корректного сравнения различных вариантов календарных планов строительства.

Рассмотрим довольно простую, но вместе с тем показательную ситуацию оценки. Допустим, что два эксперта оценивают календарные планы строительства по трем показателям: по минимуму общей продолжительности строительства, по минимальному пику графика движения рабочих и по минимуму среднего числа рабочих. Обычно по первому показателю максимизируется скорость освоения капитальных вложений, по второму – минимизируются издержки, связанные с организацией стройплощадки, а по третьему показателю минимизируется потребность в трудовых ресурсах в случае их существенной ограниченности. Не останавливаясь на конкретных формулах расчета данных показателей, можно положить, что принятая методика расчета допускает их относительное представление в едином диапазоне от 0 до 1, в котором стремление показателя к 1 считается положительной тенденцией, а к 0 – отрицательной.

Допустим, что ответы 1-го эксперта соответствуют следующему ранговому ряду $W_1 \geq W_2 \geq W_3$. Используя нормировку на сумму весов $W_1 + W_2 + W_3 = 1$ в качестве уравнения исключающего неизвестное W_3 , на рисунке 2.6 отображена двумерная геометрическая интерпретация приведенных выше ответов.

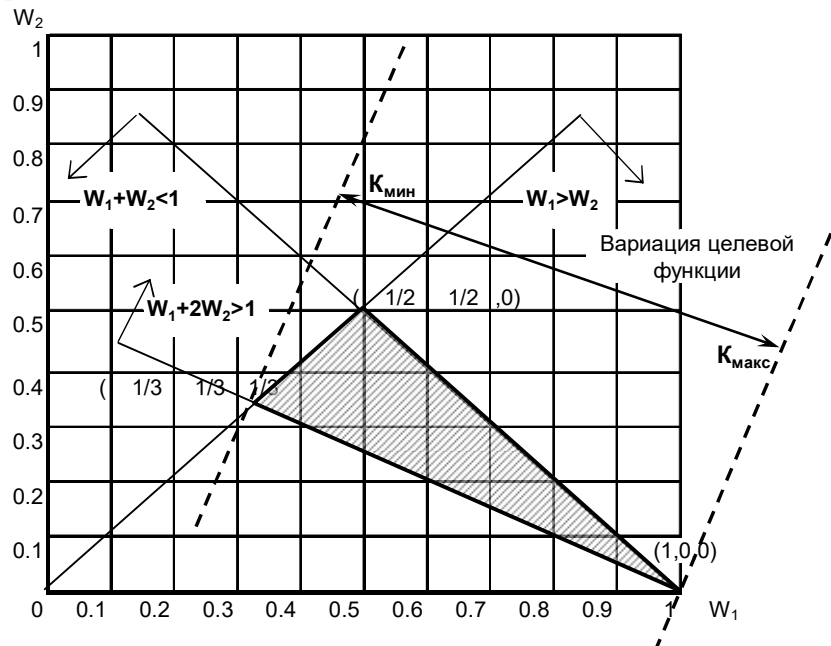


Рисунок 2.6 Геометрическое представление области допустимых значений весов

Согласно показанной интерпретации, область допустимых значений весов ограничена тремя неравенствами, образующими соответствующий треугольник. Очевидно, что для четырех весов область допустимых решений определится тетраэдром с четырьмя вершинами, а для пяти и более весов число вершин будет определяться числом оцениваемых показателей. Также важным является и то, что множество вершин представляю собой выпуклое множество.

2.2.2 Определение диапазона изменения усредненной оценки методом линейного программирования. Допустим, имеются следующие численные значения отдельных технико-экономических показателей: $K_1=1.00$, $K_2=0.80$, $K_3=0.84$. Тогда, определяя значения интегрального показателя в вершинах треугольника по формуле (2.11), получаем следующие значения $K^{(1)}(1,0,0)=1.00$, $K^{(1)}(1/2, 1/2, 0)=0.90$, $K^{(1)}(1/3, 1/3, 1/3)=0.88$. В результате полученный вариационный ряд изменяется от $K^{(1)}_{\min}$ до $K^{(1)}_{\max}$ (надстрочный индекс определяет номер эксперта, в данном случае 1-го). С другой стороны приведенные значения можно получить, решая две задачи линейного программирования, одна из которых максимизирует функционал, определяемый формулой (2.11), а другая минимизирует такой же функционал. При этом система ограничений остается инвариантной по отношению к разным целевым функциям, и для рассмотренного примера будет иметь вид: $W_1 \geq W_2$, $W_1 + W_2 \leq 1$, $W_1 + 2W_2 \geq 1$.

Несмотря на потенциально точное определение границ экспертного оценивания аддитивного показателя, его среднее значение будет зависеть от функции распределения. На рисунке 2.6 штриховыми линиями показаны два крайних положения целевой функции.

На этих границах плотность распределения целевой функции равна нулю, а в промежуточной точке $(1/2, 1/2, 0)$ плотность распределения целевой функции достигает максимума, образуя в совокупности с убывающей прямой треугольного распределение. Нетрудно установить, что максимальное значение функции плотности данного распределения определяется его размахом

$$\max f(K) = \frac{2}{K^{(1)}_{\max} - K^{(1)}_{\min}}. \quad (2.8)$$

Возрастающая часть функции плотности распределения определяется формулой (2.9)

$$f(K) = \max f(K) \frac{K - K^{(1)}_{\min}}{K^{(1)}(1/2, 1/2, 0) - K^{(1)}_{\min}}. \quad (2.9)$$

А убывающая часть функции плотности распределения определяется аналогичным образом. Для нас важным является то, что в зависимости от значений технико-экономических показателей параметры функции плотности распределения могут меняться от крайней левой асимметрии до крайней правой асимметрии. Отсюда следует, что только в среднем можно использовать равномерное распределение, как распределение, имеющее максимальную энтропию [66]. В итоге результат оценки может быть представлен в следующем виде $K^{(1)} = 0.94 \pm 0.06$ (при $P = 1$), где P доверительная вероятность.

Дополним задачу ответами второго эксперта, которые соответствуют следующему ранговому ряду: $W_3 \geq W_2 \geq W_1$. На рисунке 2.7 показаны области допустимых значений весов определенных обоими экспертами.

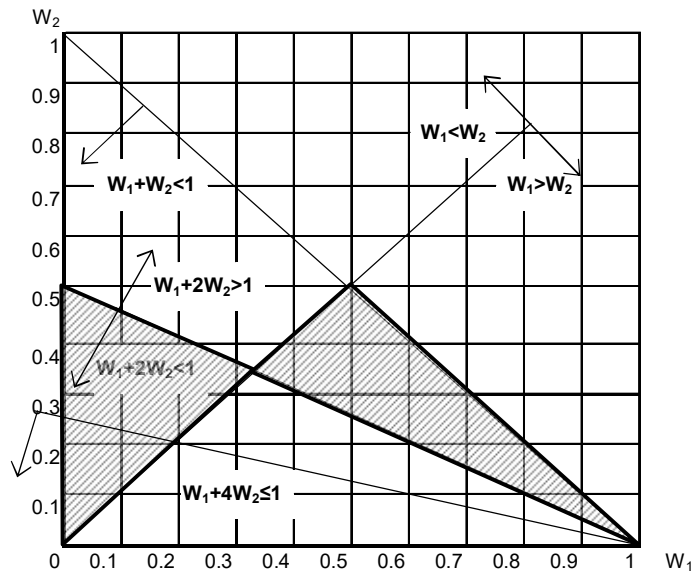


Рисунок 2.7 Геометрическая интерпретация ответов 2-х экспертов

Одно из трех неравенств $W_1 + W_2 \leq 1$ отражает факт того, что $W_3 \geq 0$, является общим, остальные же неравенства являются прямо противоположными и отражают имеющую место противоречивость в высказывании экспертов. Это приводит, в частности, к тому, что составная область допустимых значений весов уже не является выпуклой и к ней формально нельзя применить аппарат линейного программирования. Из этого следует методический прием, заключающийся в независимой обработке результатов оценки каждым экспертом и только после этого можно переходить к сведению полученных результатов в единый показатель.

Определяя значения интегрального показателя по ответам 2-го эксперта, также определенных вершинами треугольника, получаем следующие значения $K^{(2)}(0, 0, 1) = 0.84$, $K^{(2)}(0, \frac{1}{2}, \frac{1}{2}) = 0.82$, $K^{(2)}(\frac{1}{3}, \frac{1}{3}, \frac{1}{3}) = 0.88$. В результате ответов 2-го эксперта полученный вариационный ряд изменяется от $K^{(2)}_{\min} = 0.82$ до $K^{(2)}_{\max} = 0.88$, а общий результат может быть представлен в виде $K^{(2)} = 0.85 \pm 0.03$ (при $P = 1$).

Разумно предположить, что при организации экспертизы степень доверия каждому эксперту является одинаково значимой величиной, а поэтому общая оценка качества календарного плана должна строиться по схеме равноточных измерений [67]. Для рассмотренного примера общая оценка будет $K = 0.91 \pm 0.09$. Подобного рода оценка вполне приемлема, в случае если оценки отдельных экспертов создают непрерывный ряд оценок. Однако возможны и другие ситуации, когда, например, между оценками экспертов будут иметь место значения с нулевой вероятностью.

Можно допустить, что 2-ой эксперт изменил оценку так, что вес 3-го показателя намного больше веса 2-го показателя, а именно $W_3 \gg W_2$. Это будет соответствовать тому, что неравенство $W_1 + 2W_2 \leq 1$ трансформируется в другое неравенство $W_1 + 4W_2 \leq 1$. Определяя значения аддитивного показателя по измененным ответам 2-го эксперта, получаем следующие значения: $K^{(2)}(0, 0, 1) = 0.84$, $K^{(2)}(0, \frac{1}{4}, \frac{3}{4}) = 0.83$, $K^{(2)}(0.2, 0.2, 0.6) = 0.864$. В результате этих ответов вариационный ряд меняется от $K^{(2)}_{\min} = 0.83$ до $K^{(2)}_{\max} = 0.864$, а общий результат может быть представлен в виде $K^{(2)} = 0.847 \pm 0.017$ (при $P = 1$). Тогда с учетом мнения 1-го эксперта можно сформировать итоговую оценку по следующей схеме: в качестве минимального значения принимается минимум из минимумов оценок всех экспертов, а в качестве итоговой максимальной оценки принимается максимум из максимумов оценок всех экспертов, а в качестве среднего используется медиана полученного размаха. Для измененного примера это даст результат 0.915 ± 0.085 .

Качество проведенной экспертизы можно оценить исходя из теоретических основ информационных процессов [66]. Начальная неопределенность искомого показателя определяется шириной $K_{\max} - K_{\min} = 0.2$. Первый эксперт уменьшил этот диапазон до 0.12, следовательно, он внес в систему 0.74 бит информации. Второй эксперт, в случае первого варианта ответа, уменьшил исходный диапазон неопределенности до 0.06, следовательно, он внес в систему 1.73 бит информации. После совместной обработки результатов оказалось, что итоговое уменьшение диапазона неопределенности составило 0.18, что соответствует 0.15 бит информации и, следовательно, оставшая часть информации является противоречивой. Информационный КПД экспертизы составил $0.15 / (0.74 + 1.73) = 0.06$. Модифицированный вариант ответа 2-го эксперта привел к тому, что диапазон неопределенности уменьшился до 0.17, что соответствует 0.23 бит информации, а соответствующий ответ увеличил информацию до 2.55 бит. Однако в результате информационный КПД экспертизы практически не изменился и составил $0.23 / (0.74 + 2.55) = 0.07$.

Таким образом, погрешность в оценке аддитивного показателя качества календарного плана и определение информационного КПД экспертного оценивания дают комплексный показатель, в соответствии с которым могут быть ранжированы сравниваемые календарные планы строительства.

2.2.3 Выбор оптимальной шкалы при парном сравнении значимостей методов прогноза.

Перед переходом к основному вопросу следует обратить внимание на нормализацию выбранных показателей. Целью количественной оценки качества организации строительства является выбор наиболее эффективного варианта из всего множества возможных вариантов. Следовательно, для каждого отдельного показателя имеется множество значений, изменяющихся от некоторого минимума до некоторого максимума. Для индексной оценки каждого показателя, находящейся в нормированном диапазоне от 0 до 1, можно использовать отношение разности абсолютного и минимального значений к разности максимального и минимального значений. Например, если длительность строительства по всем сравниваемым вариантам изменяется от $T_{\min}$ до $T_{\max}$, а для i -го варианта она равна T_i , то соответствующий индексный критерий может быть рассчитан по следующей формуле.

$$K_i = \frac{T_{\max} - T_i}{T_{\max} - T_{\min}}. \quad (2.10)$$

Следует отметить, что для данного критерия положительным будет его стремление к 1, то есть при условии, когда продолжительность оцениваемого варианта будет стремиться к минимальной продолжительности. В иных случаях и для расчета других критериев представленная формула может быть соответствующим образом преобразована. С учетом принятых соглашений интегральный показатель будет рассчитываться по формуле (2.7).

Известно, что при количественной оценке качества любого объекта используются различные по своей сущности измерительные шкалы, к которым можно отнести ранговую, бальную, лингвистическую и др. Общим в этих шкалах является количество измеряемых оттенков, которое определяет чувствительность шкалы. При традиционных физических измерениях стрелочными (аналоговыми) приборами чувствительность связана с ценой деления, а при измерениях цифровыми приборами – с числом десятичных разрядов [67]. Если число оттенков квалитметрической шкалы сопоставить с числом делений метрической шкалы, то чувствительность шкалы можно выразить в битах информации, рассчитываемый по формуле Хартли, как двоичный логарифм общего числа делений. Надо отметить, что при квалитметрической оценке, как правило, используются «малобитные» шкалы. Например, в методе анализа иерархий (автор Томас Саати) используется 9-ти бальная шкала (практически трехбитная шкала), а в системе эстетических оценок качества зданий жителями Финляндии используется 5 градаций экспертных оценок (практически двухбитная шкала) [68]. Таким образом, для последующей демонстрации результатов имитационного моделирования нами использованы шкалы, информационная чувствительность которых меняется от одного до трех бит.

Рассмотрим следующий практический пример, в котором: стоимостной критерий $K_1 = 0.93$, критерий длительности строительства $K_2 = 1.00$, критерий максимума рабочих $K_3 = 0.82$, критерий оценки установленной электрической мощности $K_4 = 0.53$, критерий оценки теплотребления $K_5 = 0.25$ и критерий оценки теплотребления $K_6 = 0.64$. Если экспертизу весов (значимостей) не проводить или все эксперты ответили одинаково «не знаю», то, следовательно, в оценивающую систему поступило 0 бит информации, а результатом оценки интегрального (средневзвешенного) показателя будет следующий вывод: с доверительной вероятностью $P=1$ волатильность (изменчивость) интегрального показателя находится в диапазоне от 0.25 до 1.

При переходе к однобитной шкале при парном сравнении значимостей отдельных критериев эксперту предлагаются следующие варианты ответов: «не знаю», «меньше» и «больше». Математическая обработка экспертных ответов проведена по методике, изложенной в работе [69]. Результатом данной оценки явился вывод: с доверительной вероятностью $P=1$ волатильность интегрального показателя находится в диапазоне от 0.71 до 1.00, а информационный К.П.Д. составил 9.7%.

При переходе к двухбитной шкале при парном сравнении значимостей отдельных критериев эксперту предлагаются следующие варианты ответов: «не знаю», «меньше», «чуть меньше», «много меньше», «больше», «чуть больше» и «много больше». Результатом данной оценки явился вывод: с доверительной вероятностью $P=1$ волатильность интегрального показателя находится в диапазоне от 0.77 до 0.90, а информационный К.П.Д. составил 10.6%.

При переходе к трехбитной шкале при парном сравнении значимостей отдельных критериев эксперту дополнительно предлагаются следующие варианты ответов: «чуть меньше-», «чуть меньше+», «много меньше-», «много меньше+», «чуть больше-», «чуть больше+», «много больше-» и «много больше+».

Дополнительные варианты дают экспертам возможность дальнейшего выбора оттенков, посредством деления производящего ответа на две половины. Половина, которая находится слева, обозначена знаком минус, а справа – знаком плюс. Данный прием связан с тем, что лингвистически трудно подобрать слова для понятной идентификации трехбитных оттенков. Ответы экспертов специально подобраны так, что в трехбитной шкале для 2-го и 3-го экспертов они оказались противоречивыми. Результатом проведенной оценки явился вывод, согласно которому можно считать, что с доверительной вероятностью $P=1$ волатильность интегрального показателя находится в диапазоне от 0.72 до 0.90, а информационный К.П.Д. составил 8.8%. Результаты проведенного имитационного моделирования представлены в таблице 2.7 и на рисунке 2.8.

Таблица 2.7

Результаты имитационного моделирования.

Чувствительность шкалы	Minimum критерия	Maximum критерия	Полезная Информация, бит	Информационный К.П.Д., %
0 бит	0.25	1	0	0
1 бит	0.71	1	1.36	9.7
2 бита	0.77	0.9	2.52	10.6
3 бита	0.72	0.9	2.06	8.8

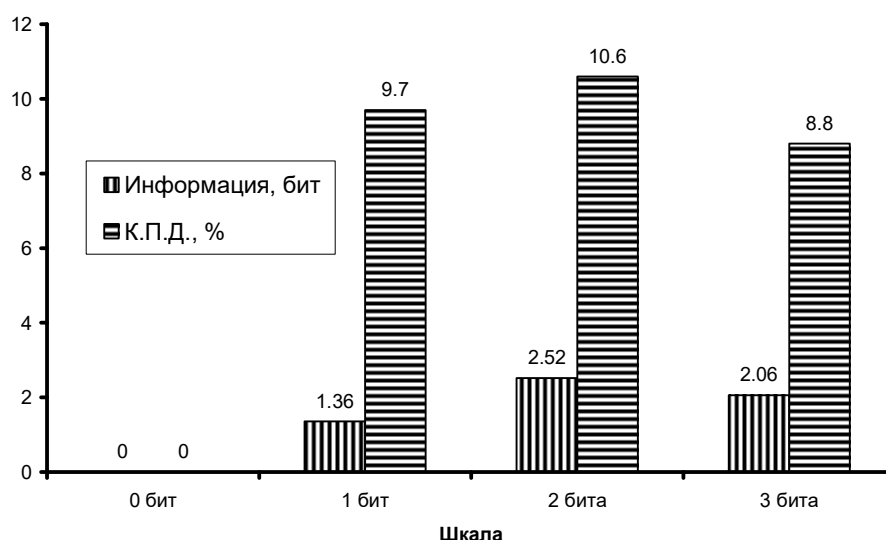


Рисунок 2.8. Гистограмма изменения информационных параметров.

Анализ результатов показывает, что сначала при росте чувствительности используемой шкалы наблюдается рост как полезной информации, определяемой размахом, так и рост информационного К.П.Д., определяемого отношением полезной информации к общей информации, введенной всеми экспертами. С некоторого значения чувствительности используемой шкалы может наблюдаться как снижение полезной информации, так и снижение информационного К.П.Д. Это связано с тем, что оценка более тонких оттенков может быть противоречиво воспринята разными экспертами. Среди двух представленных характеристик качества экспертной оценки безусловный приоритет имеет характеристика полезной информации, так как именно она определяется погрешностью экспертизы. Таким образом, можно утверждать, что имеется некоторый оптимум экспертной оценки, связанный с выбором чувствительности оценочной шкалы, а переход за пределы этого оптимума только ухудшает итоговый результат.

2.2.4. Пример экспертной оценки объектов для включения их в адресную программу капитального ремонта. Представленный пример связан с формированием очередности включения многоквартирных домов в региональную программу капитального ремонта. Рейтинг каждого объекта определяется в соответствии с 8-ю группами критериев, веса (значимости) которых определены на основе изложенной выше методики экспертной оценки. Вербальное описание частных показателей оценки в своих существенных моментах опирается на данные работ [69, 70].

1. Критерий, оценивающий объект недвижимости, включает его физическое состояние, архитектурно-функциональное состояние и возраст объекта.
2. Критерий, оценивающий свойства земельного участка, относимого к объекту, характеризуется площадью и геометрией, а также наличием других улучшений.
3. Оценка инженерной геологии включает оценку оснований, наличие агрессивных сред, возможность подтоплений, заболоченность, высокое стояние грунтовых вод и т. д.
4. Оценка инженерных систем объекта определяет инженерную обеспеченность всеми видами коммунальных услуг, телекоммуникации и т.д.

5. Оценка местоположения объекта складывается из ряда индивидуальных показателей, таких как близость к административному центру, близость к социально-значимым местам, к взаимосвязанным объектам и возможность использования смежной территории.
6. Транспортная ситуация оценивается по наличию и состоянию транспортных путей непосредственно на прилегающей к объекту территории.
7. Социально-экономическая ситуация оценивается через тенденции изменения численности населения, уровень жизни, миграцию и социально-политическую стабильность.
8. Экономико-природные фактор определяет оценку экологической обстановки, подверженности территории разрушительным природным и антропогенным воздействиям, стихийным бедствиям.

Каждый из факторов, входящих в критерий, оценивался по 4-х бальной шкале, определяемой значениями 0, 1, 2 и 3 балла, при этом принято – чем выше балл, тем хуже состояние объекта. А итоговый критерий определен как средний арифметический балл.

Показатель физического состояния объекта оценен в 2 балла.

Показатель земельного участка оценен в 1,67 балла.

Показатель гидрологии и геология земельного участка – 1,33 балла.

Оценка состояния инженерных систем объекта – 1,67 балла.

Оценка местоположения объекта - 1,67 балла.

Транспортная ситуация оценена в 2,67 балла.

Социально-экономическая ситуация соответствует оценке 1,33 балла.

Оценка эколого-природной ситуации вокруг объекта – 2 балла.

Таким образом, получены значения 8-ми показателей, характеризующих экспертно оцененное состояние жилого здания. Очевидно, что для каждого жилого здания аналогичная оценка показателей будет отличаться, и она будет отражать индивидуальные свойства каждого элемента множества недвижимых объектов. При этом для того чтобы определить окончательные рейтинги множества объектов необходимо учесть значимости каждого показателя в этой системе оценок. Для этого использована методика стохастической квалиметрии, изложенная в наших более ранних работах [64, 69, 70]. Изложим краткую последовательность получения оценки весов представленных показателей.

На рисунке 2.9 показан скриншот программы экспертной оценки значимостей (весов) объектов адресной программы по 8-ми показателям. Администрация Республики Тува в лице ее Правительства назначает экспертов – от 1 до 3-х специалистов в области ЖКХ. Каждый эксперт должен попарно оценить экспертные соотношения показателей, которые индексируются как i-й и j-й показатели. В научном лексиконе отношения между ними носят название лингвистической переменной, для которой выбирается одно из 8-ми значений.

1. Много меньше.
2. Меньше.
3. Чуть меньше.
4. Равно.
5. Чуть больше.
6. Больше.
7. Много больше.
8. Не знаю.

Экспертная оценка значимостей (весов) объектов адресной программы по 8-ми показателям

Ввод числа экспертов М от 1 до 3 : 3

Показатели и средние баллы (для 1-го объекта)

Физические показатели объекта	Физические показатели земли	Гидрология и геология участка	Инженерные системы объекта	Оценка местоположе- ния объекта	Транспортная ситуация	Социально- экономическая ситуация	Экономико- природные факторы
0.00	1.00	0.33	1.00	1.33	1.00	1.00	2.00
I - ый критерий	J - ый критерий						
	2	3	4	5	6	7	8
1. 1-й эксперт 2-й эксперт 3-й эксперт	больше	больше	чуть больше	больше	много больше	много больше	больше
	много больше	чуть больше	чуть больше	много больше	больше	больше	много больше
	чуть больше	чуть больше	чуть больше	много больше	больше	больше	много больше
2. 1-й эксперт 2-й эксперт 3-й эксперт	I-ый критерий	равно	чуть меньше	чуть меньше	меньше	меньше	меньше
		чуть больше	чуть больше	меньше	меньше	чуть меньше	чуть меньше
		чуть меньше	чуть меньше	чуть меньше	меньше	чуть меньше	чуть меньше
3. 1-й эксперт 2-й эксперт 3-й эксперт		Пример и варианты выбора значимостей	меньше	чуть меньше	меньше	меньше	меньше
			меньше	меньше	равно	равно	
			чуть больше	чуть больше	меньше	равно	равно
4. 1-й эксперт 2-й эксперт 3-й эксперт			J-го критерия .	больше	больше	не знаю	не знаю
				чуть больше	больше	не знаю	равно
				чуть больше	больше	не знаю	равно
5. 1-й эксперт 2-й эксперт 3-й эксперт				Оценка качества экспертизы: Всего введено бит= 39.26 Объем противоречивой информации, оцененной в битах= 12.20 КПД (коэффициент полезного действия) экспертизы, %= 68.0	равно	не знаю	чуть меньше
					не знаю	равно	равно
					не знаю	равно	равно
6. 1-й эксперт 2-й эксперт 3-й эксперт					Веса критериев (W) и их погрешности (ΔW)	равно	чуть меньше
						не знаю	меньше
						не знаю	меньше
7. 1-й эксперт 2-й эксперт 3-й эксперт						не знаю	
						равно	
						не знаю	
0.23	0.09	0.09	0.14	0.10	0.11	0.11	0.12
0.06	0.02	0.03	0.04	0.03	0.04	0.04	0.03

Рисунок 2.9 – Результаты обработки экспертизы по оценке значимостей критериев

Например, первый эксперт определил, что оценка показателей объекта больше (более предпочтительна), чем оценка физических показателей земли. Второй эксперт определил, что оценка показателей объекта меньше (менее предпочтительна), чем оценка физических показателей земли. А третий эксперт определил, что оценка показателей объекта чуть больше (чуть более предпочтительна), чем оценка физических показателей земли (рисунок 2.10). Для оценки значимостей 8-ми критериев каждый эксперт провел оценку по 28 парам показателей, число которых в общем случае рассчитывается по следующей формуле

$$Q = C_N^2 = \frac{N}{2}(N-1), \quad (2.10)$$

где N – число оцениваемых критериев.

В нижней части рисунка 2.9 помещены результаты проведенной экспертизы в виде установления значений весов показателей и погрешностей в рассчитанных весах. Так, например, вес критерия «Физические показатели объекта» оказался равным 23%, с абсолютной погрешностью $\pm 6\%$, вес критерия «Физические показатели земли» оказался равным 9%, с абсолютной погрешностью $\pm 2\%$. Полученные погрешности в оценке весов в определенной мере определяют качество экспертизы, но это является лишь косвенной характеристикой качества экспертизы.

Более прямым подходом в определение качества экспертизы является учет количественных характеристик введенной информации. Дело в том, что если эксперт вводит ответ типа «Не знаю», то по сути дела он не сообщает системе никакой полезной информации, что соответствует 0 битам информации. Если же эксперт вводит ответ типа «Больше» или типа «Меньше», то он сообщает системе полезную информацию, соответствующую 1 биту. В остальных случаях (ответах) эксперт сообщает системе полезную информацию, соответствующую 2-м битам. Таким образом, для представленного примера итоговый объем введенной всеми экспертами информации составил 39,26 бита.

Однако часть введенной информации может быть противоречивой. Например, при оценке пары критериев «Гидрология и геология участка» и «Инженерные системы объекта» 1-й эксперт ответил, что гидрология менее значима. Для той же пары 3-й эксперт высказался почти наоборот, отметив, что «Инженерные системы» чуть более значимы, чем гидрогеологические показатели. Таким образом, оказалось, что общий объем противоречивой информации при проведении экспертизы составил 12,2 бита. В результате КПД информационной экспертизы, определяемый отношением непротиворечивой информации ко всей введенной информации, составил 68%.

Следует отметить, что интегральное качество экспертизы должно определяться двумя показателями – общим объемом введенной информации и информационным КПД. Дело в том, что если на все вопросы эксперты ответили «Не знаю», то противоречий между ними нет, но введенный информационный объем будет равен нулю. С другой стороны, если каждый из экспертов ввел в систему максимально возможный объем информации, но эта информация будет противоречивой, то информационный КПД будет стремиться к нулю. Таким образом, разработанная система ориентирована не только на формальное определение значимостей, но и направлена на проверку качества экспертизы по оценке значимостей всех показателей.

В таблице 2.8 приведен пример ранжирования 24 объектов, расположенных по ул. Лапсанчапа. В первой строке показан порядковый индекс оцениваемого здания, а во второй строке – номер дома здания. В третьей строке представлен простой среднеарифметический балл, а в четвертой строке – средневзвешенный балл, учитывающий предпочтения, высказанные экспертами по значимостям индивидуальных критериев. Из результатов оценки видно, что эти баллы существенно отличаются.

В пятой строке показаны полуразмахи средневзвешенных баллов. Данные по полуразмахам определяются исходя из решения двух задач линейного программирования, постановки которых сводятся к следующему.

Таблица 2.8

Результаты оценки жилых домов по ул. Лопсанчапа в г. Кызыл

№ жилого дома	1	2	3	4	5	6
Ул. Лопсанчапа, дом №	25	27	29	30	31	33
Среднеарифметический балл:	0.96	0.96	0.96	1.46	0.96	1.42
Средневзвешенный балл:	0.81	0.81	0.81	1.45	0.81	1.38
Полуразмах взвешенного балла:	0.139	0.139	0.139	0.137	0.139	0.06
Ранг оценки:	22	22	22	1	22	6
№ жилого дома	7	8	9	10	11	12
Ул. Лопсанчапа, дом №	37	39	40	42	44	25-1
Среднеарифметический балл:	0.96	1.42	1.42	1.42	1.42	0.96
Средневзвешенный балл:	0.81	1.38	1.38	1.38	1.38	0.81
Полуразмах взвешенного балла:	0.139	0.06	0.06	0.06	0.06	0.139
Ранг оценки:	22	6	6	6	6	22
№ жилого дома	13	14	15	16	17	18
Ул. Лопсанчапа, дом №	27-1	27-2	35-1	35-2	37-1	37-3
Среднеарифметический балл:	1.42	1.42	1.42	1.38	0.96	0.96
Средневзвешенный балл:	1.38	1.38	1.38	1.34	0.81	0.81
Полуразмах взвешенного балла:	0.06	0.06	0.06	0.045	0.139	0.139
Ранг оценки:	6	6	6	20	22	22
№ жилого дома	19	20	21	22	23	24
Ул. Лопсанчапа, дом №	44-1	2-1	2-1	29-1	43	41
Среднеарифметический балл:	0.96	1.42	1.42	0.96	1.00	1.42
Средневзвешенный балл:	0.81	1.38	1.38	0.81	0.89	1.38
Полуразмах взвешенного балла:	0.139	0.06	0.06	0.139	0.119	0.06
Ранг оценки:	22	6	6	22	21	6
№ жилого дома	25	26	27	28	29	30
Ул. Лопсанчапа, дом №	18	2	13	14	16	17
Среднеарифметический балл:	1.46	1.46	1.42	1.46	1.46	1.42
Средневзвешенный балл:	1.45	1.45	1.38	1.45	1.45	1.38
Полуразмах взвешенного балла:	0.137	0.137	0.06	0.137	0.137	0.06
Ранг оценки:	1	1	6	1	1	6

Дело в том, что все парные соотношения, определяемые экспертами, трансформируются в систему линейных неравенств, определяющих область допустимых изменений весов. Тогда, согласно решению первой задачи линейного программирования, можно определить такие веса показателей, при которых общий балл будет максимальным. Согласно же решению второй задачи линейного программирования, можно определить такие веса показателей, при которых общий балл будет минимальным. Половинная разность между этими двумя значениями как раз и будет определять полуразмах, который в традиционной статистике показывает область допустимых границ, с той лишь разницей, что в нашей методике она определена с допустимой вероятностью 100%.

Практическое использование полуразмаха возможно в случае, когда рейтинги оцениваемых объектов будут одинаковыми. Тогда в пределах одинаковых рейтингов можно ранжировать объекты в соответствии с минимизацией их полуразмахов.

Действительно, при оценке представленных в таблице 2.8 объектов видно, что наивысший рейтинг имеют 4 объекта (№№ 4, 25, 28 и 29). Эти объекты имеют одинаковые архитектурно-конструктивные решения, расположены в непосредственной территориальной близости друг от друга, имеют одинаковые земельные участки с одинаковым благоустройством и они построены примерно в

одно время (с 1963 по 1969 гг.). В результате все эти дома имеют наивысший рейтинг, который в 6-й строке пересчитан в соответствующую ранговую шкалу. Следует отметить, что ранги объектов, имеющих одинаковый рейтинг, определяются низшим по значению рангом, а следующий по рейтингу ранг учитывает предыдущее количество равноранговых объектов.

Последним шагом разработанной нами методики является формирование адресной программы из объектов, имеющих наивысший рейтинг. По скорости исполнения предлагаемую методику можно назвать экспресс-оценкой состояния жилых зданий. После формирования адресной программы осуществляется полноценная оценка всех включенных объектов с целью формирования проектной документации на комплексный капитальный ремонт в соответствии с нормативами. После разработки организационно-технологической документации на каждый объект определяется оптимальная очередь по капитальному их ремонту в соответствии с методикой и алгоритмом, данными в работе [70].

Выводы по 2-й главе

1. Установлено, что существующие современные модели прогнозирования продолжительности строительства не в полной мере ориентированы на актуальную оценку хода строительства. Например, индексный метод, прежде всего, направлен на цветовую сигнализацию ситуаций, связанных уже с возникшей несвоевременностью выполненных работ. Логика метода критической цепи ориентирована не на измерение прогноза по несвоевременности, а на его предотвращение.
2. Метод предсказания продолжительности строительства, основанный на модели «о гибели и размножении» не может обеспечить необходимую информационную полноту, и, следовательно, его использование в ходе оперативного управления строительством несостоятельно.
3. Также установлено, что проанализированные модели прогнозирования продолжительности строительства существенным образом опираются на использование экспертных оценок, которые в силу своей субъективности имеют погрешности, количественный анализ которых просто игнорируется.
4. Показана возможность расчета погрешностей в экспертных оценках на основе адаптации метода стохастической квалиметрии и представлен практический пример ее использования в календарном планировании очередности объектов при формировании программы капитального ремонта жилых зданий.

3 глава. Расчет расписаний строительных работ на основе статистического моделирования

3.1 Устойчивость запланированной топологии производства работ

3.1.1 Метод GERT и альтернативные сетевые модели. Метод графической оценки и анализа разработан в США в 1966 году (*GERT*, англ. *Graphical Evaluation and Review Technique*) и представляет собой вероятностный метод планирования, использующий построение альтернативных сетей. Данный метод применяется в случаях, когда при организации строительных работ последующие задачи могут начинаться только после завершения некоторого числа из предшествующих задач. В результате с точки зрения завершения всего проекта не все задачи, представленные на альтернативной сетевой модели, должны быть выполнены.

Таким образом, использование, так называемых, альтернативных сетей является логической основой применения метода *GERT*, и поэтому альтернативные сети также могут иметь название *GERT*-сетей. Использование *GERT*-сетей позволяет более адекватно отображать сложные процессы строительного производства в тех случаях, когда затруднительно или невозможно (по объективным причинам) однозначно определить, какие именно работы и в какой последовательности должны быть выполнены для достижения цели проекта. Таким образом, рациональное использование альтернативных сетей необходимо при планировании множества вариантов (альтернатив) реализации проекта. Конечным результатом моделирования по методу *GERT*, как правило, является построение нескольких графиков, учитывающих вероятность различной продолжительности проекта и неопределенность состава его работ. Однако моделирование реальных процессов чрезвычайно сложно, а для расчёта *GERT*-сетей требуется большой объем априорной информации. Поэтому программное обеспечение для вычисления сетевых моделей альтернативного типа в настоящее время не реализовано в широко используемых компьютерных программах, ориентированных на управление проектами. А поскольку «ручной» расчет *GERT*-сетей, также чрезвычайно сложен, то именно поэтому он применяется для описания бизнес-процессов, довольно-таки простых производств [71].

Кратко опишем основные специфические особенности метода *GERT* по материалам научных статей [72, 73, 74]. В методе *GERT* априори оценивается вероятность выполнения любой работы, используя при этом стандартный диапазон нормирования (от 0 до 1). Если вероятность выполнения работы равна 1, то такой случай называется детерминированным, и как раз ему соответствуют все имеющиеся программы по управлению проектами, включая программы, использующие метод *PERT*. Для вероятности, определенной значением меньшим, чем единица, считается, что операция может быть не выполнена с дополнительной вероятностью. В строительной практике подобные случаи как раз и определяют альтернативную технологию. Таким образом, для некоторых узлов в рассматриваемом методе *GERT* предусматривается вероятностное разветвление хода развития, вытекающих из них работ. При этом для полного и качественного планирования всех производственных процессов в *GERT*-модель включают вероятностные данные не только выполняемых операций, но и данные, необходимые для описания характеристик связей между операциями.

В дальнейшем, для вычисления двух основных характеристик узлов, определяющих функционирование сети: вероятность выполнения конкретного узла и различные моменты времени, связанные с узлом, формируются соответствующие топологические уравнения. Для сложного производственного или технологического процесса рассчитанное время рассматривается как случайная величина, описываемая подходящей функцией распределения с конечным математическим ожиданием и дисперсией.

Обычно узлы в альтернативной (стохастической) сети интерпретируются как состояния процесса, а дуги – как переходы из одного состояния в другое. Такие переходы можно рассматривать как реализацию обобщенных операций производства, характеризующихся плотностью распределения вероятности. В результате стохастическое представление производственных процессов осуществляется с помощью графа, в котором узлы являются входом и выходом для операций, а дуги характеризуют либо время выполнения реальной производственной операции, либо связи между ними.

В некоторых источниках определен следующий тип входной функции для узла. Узел выполняется, если выполнена дуга, входящая в него, при условии, что в заданный момент времени может выполняться только одна дуга. Для выхода так же определены два типа выходной функции:

детерминированный выход и вероятностный выход. Для детерминированной выходной функции характерна ситуация, когда все дуги, выходящие из узла, выполняются, если этот узел выполнен. Для одной дуги, выходящей из узла, значение вероятности выходной функции принимается равной единице.

Преимущества метода *GERT*:

- Метод допускает изменение состава выполняемых работ, за счет того, что некоторые работы могут не выполняться.
- Метод допускает возвращение к ранее выполненным работам и событиям (например, в случае дополнительного проектирования некоторых конструкций и дополнительного выполнения работ). В результате, в методе *GERT* допускается использование циклов за счет возврата к выполненным ранее работам, что дает возможность отражать при моделировании периодически повторяющиеся производственные операции.
- Использование в данном методе стохастического описания реализации производственных процессов позволяет решать задачу нахождения математического ожидания и стандартного отклонения директивного времени на их реализацию в условиях неопределенности.

Однако, кроме сложности построения альтернативной сетевой модели, имеется дополнительное ограничение и оно связано с трудностью «настройки» сети проекта на возникающую неопределенность. По мере выполнения проекта может измениться и сама сеть, его представляющая, как результат непредвиденного изменения начальной базы. Поэтому не только работы могут характеризоваться некоторой неопределенностью времени их выполнения, но и сам проект может характеризоваться неопределенностью выполнения.

Техника графического построения и оценки результата развития проекта во времени (*GERT*) является одним из методов семейства *PERT/CPM*, используемых для управления моделями проектов, работы которых характеризуются неопределенностью. Считается, что метод *GERT*, в определенном смысле, является подобным методу *PERT*, поскольку в них обоих используется сеть, состоящая из работ и событий. В таблице 3.1 показаны их различия.

Таблица 3.1

Различия методов PERT и GERT	
PERT	GERT
1. Все работы должны быть определены.	1. Оценивается вероятность свершения каждой работы (от $p = 0.0$ до $p = 1.0$). Если $p = 1$ для рассматриваемых работ, то это такой же случай, как в PERT, называемый детерминированным. Если $p < 1$, то все действия называются «вероятностными».
2. Все работы проекта должны быть успешно завершены.	2. Некоторые работы могут не выполняться, изменив при этом общий состав работ.
3. Возвращение назад к предыдущим работам не допускается (отсутствуют циклы и петли в сети).	3. Допускается возвращение назад.

Имеется еще один недостаток в использовании альтернативных сетей. Этот недостаток проявляется в ходе оперативного управления строительством и он связан со сложностью практического учета изменения топологии работ.

3.1.2 Сложность практического учета изменения топологии работ.

Сложность построения и расчета альтернативных сетевых моделей еще более возрастает в случае их практического использования в процессе оперативного управления строительством. По ходу выполнения строительных и монтажных работ осуществляется как контроль их качества, так и контроль их безопасного исполнения. Одним из распространенных способов фиксации некачественно выполненных работ является фотографирование, для которого в системе мониторинга АСИК использован термин фотоотчет [47, 48]. На рисунке 3.1 показаны примеры некачественно выполненных

работ, требующих от исполнителя устранения выявленных недостатков за счет дополнительных трудовых затрат.



а) Посторонние предметы в кирпичной кладке



б) Дефекты стяжки



в) скол в вентиляционном блоке



г) отслоение шпаклевки, намокание поверхности.

Рисунок 3.1 Примеры некачественно выполненных работ, требующих дополнительных трудовых затрат

Кратко прокомментируем визуализированные недостатки. На рисунке 3.1а показано попадание посторонних предметов в кирпичную кладку. Этот недостаток определен с помощью метода неразрушающего контроля. На фотографии видно, что это металлические гвозди, и если их не извлечь, то в холодный период эксплуатации здания тепловой поток на этом участке будет выше расчетного. Данная ситуация однозначно приведет к понижению температуры на внутренней поверхности стены, а может быть и к конденсации влаги. На рисунке 3.1б показано некачественное выполнение стяжки, на которую впоследствии должна быть уложена подоконная доска. Если эту работу не переделать, то будут нарушены прочностные и теплотехнические свойства всей конструкции окна. На рисунке 3.1в показан скол в вентиляционном блоке. Если его не ликвидировать, то нарушатся соответствующие аэродинамические характеристики системы вентиляции, на что потребуются дополнительные материальные и трудовые затраты при выполнении отделочных работ. На рисунке 3.1д показано отслоение шпаклевки и намокание поверхности, что характеризует то, что температура на внутренней поверхности стены ниже температуры «точки росы». По этой фотографии можно сказать, что в результате некачественно выполненной работы уменьшено термическое сопротивление.

По данным мониторинга [47, 48], тенденции по накоплению и исправлению отклонений по качеству показывают, что накопление новых отклонений по качеству происходит быстрее устранения ранее допущенных отклонений. Обычно подобного рода тенденции приводят к тому, что перед сдачей

объекта будут потрачены незапланированные человеческие ресурсы на устранение отклонений. Это повлечет за собой дополнительные риски и затраты [47, 48]. Поэтому представленные выше данные показывают, что при использовании метода альтернативных сетей практически невозможно априори предвидеть возникновение всех дополнительных работ, связанных с некачественным выполнением основных работ.

Вместе с проверкой качества выполненных работ осуществляется мониторинг по соблюдению безопасности на строительной площадке [47, 48]. При этом вводится следующая шкала оценки безопасности.

AAA — строительная площадка обладает исключительно высоким уровнем выполнения мероприятий по безопасности труда. Отношение количества не выполненных мероприятий к их общему числу (риск) не превышает 0,5%.

AA — строительная площадка обладает высоким уровнем выполнения мероприятий по безопасности труда. Отношение количества не выполненных мероприятий к их общему числу (риск) не превышает 1%.

A — строительная площадка обладает достаточным уровнем выполнения мероприятий по безопасности труда, который обеспечивает отсутствие угрозы для человеческих жизней и здоровья. Отношение количества не выполненных мероприятий к их общему числу (риск) не превышает 2%.

BBB — строительная площадка обладает достаточным уровнем выполнения мероприятий по безопасности труда, который обеспечивает отсутствие угрозы для человеческих жизней, но существует угроза здоровью лиц находящихся и производящих работы на площадке - 15 %. Отношение количества не выполненных мероприятий к их общему числу (риск) не превышает 3%.

BB — выполнение мероприятий по безопасности труда начинает зависеть от внешних факторов, таких, как изменение (уменьшение) сроков выполнения работ и т.д.; что начинает составлять угрозу для человеческих жизней и их здоровья -25%. Отношение количества не выполненных мероприятий к их общему числу (риск) не превышает 4 %.

B — выполнение мероприятий по безопасности труда полностью зависит от внешних факторов, таких, как изменение (уменьшение) сроков выполнения работ, “текучести” персонала т.д.; что составляет угрозу для человеческих жизней и их здоровья -50%. Отношение количества не выполненных мероприятий к их общему числу (риск) не превышает 5 %.

CCC — на строительной площадке присутствуют проблемы с выполнением мероприятий по безопасности и охране труда. Вероятность травмирования личного состава равна 60%, несчастных случаев - 45%. Отношение количества не выполненных мероприятий к их общему числу (риск) не превышает 6 %.

CC - на строительной площадке присутствуют серьезные проблемы с выполнением мероприятий по безопасности и охране труда. Вероятность травмирования личного состава равна 70%, несчастных случаев - 50%. Отношение количества не выполненных мероприятий к их общему числу (риск) не превышает 7 %.

C — на строительной площадке присутствуют серьезные проблемы с выполнением мероприятий по безопасности и охране труда. Приоритет данного направления ниже приоритета выполнения графика производства работ в срок (или с опережением). Вероятность травмирования личного состава равна 80%, несчастных случаев - 60%. Отношение количества не выполненных мероприятий к их общему числу (риск) не превышает 8 %.

D — на строительной площадке отсутствует постоянное выполнение мероприятий по безопасности и охране труда. Вероятность травмирования личного состава приближается к 100%, несчастных случаев - 90%. Отношение количества не выполненных мероприятий к их общему числу (риск) превышает 8,5 %.

В соответствии с представленной шкалой в случае повышенного травматизма возможна приостановка работы, которую также трудно предвидеть на альтернативной сетевой модели. Помимо рассмотренных причин нарушения топологии сетевой модели, можно привести ситуации, связанные с изменением технологии работ, заменой (при согласии проектировщика) конструкций и другие причины, изменяющие актуальную топологию производства строительных и монтажных работ.

3.1.3 Устойчивость методов поточной организации работ. В общем случае, под устойчивостью понимают показатель, измеряющий способность системы сохранять движение по

намеченной траектории, поддерживающей запланированный режим функционирования, несмотря на воздействующие возмущения [75]. Вопросы устойчивости и организационно-технической надежности в строительстве имеют много общего и рассматриваются в рамках системотехники строительства [22].

Основной причиной неустойчивости при реализации календарных планов является вероятностный характер ведения работ [76]. Расчеты календарных планов базируются на различных поточных методах организации работ. Основное отличие в методах расчета определяется учетом различных связей между работами и накладываемых на них ограничений [5]. В потоках с непрерывным использованием ресурсов требуется обеспечение нулевого растяжения ресурсных связей, в потоках с непрерывным освоением фронтов требуется обеспечение нулевого растяжения фронтальных связей, в потоках с критическими работами требуется непрерывное выполнение работ критического пути. Вопрос заключается в том, что является ли устойчивой структура строительного потока, определяемая методом расчета, к возможным изменениям продолжительностей работ в процессе будущего строительства?

Рассмотрим влияния изменения продолжительности работы на строительный поток с непрерывным использованием ресурсов на примере матрицы детерминированного расписания работ, которая показана на рисунке 3.2.

Как видно из рисунка 3.2, в начальном детерминированном расписании работ, рассчитанном по методу, обеспечивающему непрерывное использование ресурсов, отсутствуют растяжения ресурсных связей.

Индексы работ	Индексы частных фронтов работ														
	1			2			3			4			5		
A	0		3	3		8	8		14	14		18	18		20
		3			5			6			4			2	
B	5		9	9		16	16		18	18		21	21		22
		4			7			2			3			1	

Рисунок 3.2 Матрица начального детерминированного расписания работ, рассчитанного по методу непрерывного использования ресурсов

Или, другими словами, переходы трудовых и машинных ресурсов на последующие смежные частные фронты работ осуществляются без перерывов. Однако если допустить, что, например, работа *A* на 4-ом фронте из-за непредвиденного воздействия увеличилась в полтора раза и составила 6 дней, то это воздействие будет обнаружено только после начала выполнения работы *B*. И это обстоятельство с неизбежностью приведет к возникновению ненулевой ресурсной связи, с растяжением в 2 дня. Таким образом, данный поток формально уже не может считаться потоком с непрерывным использованием ресурсов. Если бы можно было заранее предвидеть увеличение продолжительности работы *A*, то тогда по стандартной методике можно было пересчитать период развертывания потока *B* и увеличить его на 2 дня, что сохранило бы непрерывность использования ресурсов.

Из данного рассмотрения вытекает, что для сохранения устойчивости строительного потока нужно предвидеть возможные изменения продолжительностей работ и, в соответствии с ними, спрогнозировать соответствующие параметры. Однако осуществить это с помощью аппарата построения альтернативных сетей также не представляется возможным.

Сохранение структуры строительного потока, определяемого тем или иным методом расчета его организации, в условиях случайных изменений продолжительностей работ, достигается за счет резервирования растяжения связей, которое, как правило, ухудшает его технико-экономические показатели. Поэтому, закладываемый в расчет календарного плана, метод организации поточного строительства будем считать стремлением к созданию *идеальной* модели.

В связи с этим рассмотрим вопрос, определяющий принадлежность метода расчета календарного плана либо к категории поточных методов расчета, либо к сетевым методам.

Конструктивным обоснованием общности поточных и сетевых методов расчета является рассмотрение обобщенного критического пути, выявление которого связано с рассмотрением парадокса планирования, описанного в работе [77]. В этой статье описан метод повторного планирования, который признает технические ограничения метода критического пути, а также включает дополнительные ограничения для обеспечения непрерывного использования ресурсов. В методе повторного планирования в качестве нового понятия вводятся контрольные точки, определяющие

последовательности поточных линий, которые могут либо расходиться, либо сходиться в зависимости от их относительных величин. В результате воздействия на контрольные точки осуществляют влияние на последующие работы, и это влияние распространяется от начала до конца проекта. При этом последовательное управление может включать в себя и критические, и некритические действия. В статье [77] также описан парадокс, когда увеличение или уменьшение продолжительности отрицательной работы на бесконечно малую величину ведет к соответствующему уменьшению или увеличению общей продолжительности работ. Любое же изменение положительной работы приводит к такому же изменению общей продолжительности. Таким образом, увеличивая продолжительность отрицательной работы на одну единицу времени, сокращаем общий срок также на одну единицу. Когда появляются две отрицательные работы и продолжительности этих работ одновременно увеличить на одну единицу времени, то общий срок уменьшится еще на одну единицу.

Для объяснения данного парадокса в научной статье [78] предлагается выделять обобщенный критический путь. При этом в дается следующее определение «Обобщенный критический путь соединяет исходное и завершающее событие и состоит из положительных и отрицательных работ, соединенных связями нулевой продолжительности». Работа обобщенного критического пути считается положительной, если в направлении обхода от исходного к завершающему событию ее начало предшествует концу; в противном случае работа считается отрицательной. Анализ итогов приведенных выше статей позволяет сделать вывод, что рационализированная методика расчета календарных планов позволяет наглядно, оперативно и квалифицированно управлять системой при организации работ, основанной как на непрерывности использования ресурсов, так и на непрерывности освоения фронтов работ.

3.2 Функции распределения случайных продолжительностей работ

3.2.1 Общие положения по вероятностным сетевым моделям в строительстве. Главным параметром, в соответствие с которым делается вывод о надежности календарного плана, является своевременность окончания строительства. Уровень надежности традиционно оценивается доверительной вероятностью либо по производным от нее характеристикам. Решение подобного рода задач базируется на применении различных статистических методов, которые, как правило, включают в себя априорную информацию о возможных функциях распределения случайных величин.

Зачастую, с целью моделирования продолжительностей отдельных работ, предлагается то или иное распределение случайных продолжительностей работ. В 1979 году было опубликовано руководство по разработке и применению вероятностных сетевых моделей в строительстве [27]. В данном руководстве представлено 8 основных функций распределения параметров строительного производства, среди которых описание случайных продолжительностей работ занимают центральное место.

1. Нормальное распределение.
2. Логарифмически нормальное распределение.
3. Распределение Вейбула.
4. Гамма распределение.
5. Экспоненциальное распределение.
6. Бета распределение.
7. Равномерное распределение.
8. Треугольное распределение.

Однако в работе [27] даны лишь общие рекомендации по выбору двух типов распределений: бета распределения и нормального распределения. Поэтому сложилась такая практика, что преимущество в использовании конкретного вида распределения зачастую не доказывается его адекватностью, а просто обосновывается наглядностью его параметров. Однако известны отдельные исследования, в которых имеют место аргументированные подходы в определении адекватности применения отдельных типов распределений.

Например, в работе [4] обосновываются некоторые типы распределений, применимые для однотипных объектов, но при этом экстраполяция этих результатов на прочие объекты в этой монографии не исследована. Методологии идентификации закона распределения отклонений объемов

производства от прогнозирующей функции на предприятиях стройиндустрии изложена в работе [79]. Однако в данной методологии вопрос об адекватности функции распределения решается в случае достаточно репрезентативной статистической информации, получение которой в строительном производстве является фактом не очевидным. В работе проф. Олейника П.П. [80] также рассматривается статистическое моделирование поточной организации работ с имитацией продолжительностей работ двумя распределениями Гауса и Гумбеля. Полученная при этом разница составила 2%.

Общей ограничительной особенностью выше анализируемых подходов является установление лишь характеристик случайной продолжительности, а не фактов приводящих к возникновению случайности. Качественный анализ некоторых факторов дан в работе [22, 29]. Для установления количественных зависимостей подобного рода широко используется аппарат регрессионного анализа. Однако, по меткому заключению авторов работы [81] ценность регрессионного анализа проявляется даже в случае, когда полученное уравнение физически бессмысленно. Но даже, если не обращать внимания на физический смысл регрессионного уравнения, то для установления его параметров требуется большая информация. Получение же достаточно точной и представительной информации не всегда возможно. Поэтому представляется плодотворным сформировать такую модель прогнозирования своевременности выполнения работ, которая основана на максимально доступной информации.

3.2.2 Метод PERT и его реализация в программах управления проектами. Для описания бета распределения существует несколько формул, которые математически отличаются друг от друга числом задаваемых параметров. Самое большое число параметров имеет четырех параметрическое бета распределение, но в этом распределении используемые параметры не имеют таких содержательных трактовок, как в его трехпараметрическом представлении. Математическая формула четырех параметрического бета распределения, преобразованная для расчета математического ожидания – m и дисперсии – D имеет следующий вид:

$$m = \frac{aq + bp}{p + q}, \quad D = \frac{pq(b-a)^2}{(p+q)^2(p+q+1)}. \quad (3.1)$$

где p и q – параметры задаваемые форму распределения;
 a и b – нижняя и верхняя границы распределения.

Считается, что полезность четырех параметрического бета распределения заключается в его обобщенной структуре, из которой осуществляется универсальный переход к другим более простым распределениям, посредством задания для его параметров определенных числовых значений. Для бета распределения, имеющего параметры $p=1$ и $q=4$ получается бета распределение со смещением влево, а при $p=1$ и $q=1$ получается бета распределение со смещением вправо. При $p=0$ и $q=0$ бета распределение переходит в равномерное распределение, а при $p=0$ и $q=1$ бета распределение переходит в левосмещенное треугольное распределение. Таким образом, принятие обобщенного бета распределения не отвечает на вопрос о том, какие численные значения параметров должны быть приняты для моделирования конкретной ситуации строительного производства.

Однако, несмотря на выше отмеченные недостатки, в программах управления проектами достаточно широко используется метод *PERT*, который неизменно базируется на бета распределении. В программе *Microsoft Project (MP)* использовано трехпараметрическое бета распределение. Математическое ожидание продолжительности работы t , рассчитываемое исходя из трехпараметрического бета распределения, имеет следующий вид:

$$t = \frac{w_1 t_1 + w_2 t_2 + w_3 t_3}{6}, \quad (3.2)$$

$$w_1 + w_2 + w_3 = 6,$$

где w_1 , w_2 и w_3 – это весовые множители, сумма которых в программе типа *MP* считается равной 6.

Фактически же весовыми коэффициентами можно рассчитать среднюю продолжительность для любого распределения. Например, принимая $w_1=1$, $w_2=0$ и $w_3=3$, по формуле (3.2) рассчитывается средняя продолжительность, соответствующая равномерному распределению. И только по умолчанию значения этих весов заданы равными $w_1=1$, $w_2=4$ и $w_3=1$, что соответствует исходному бета распределению.

Методика определения весовых множителей и различных значений продолжительностей для всех работ в программе *МР* не представлена. Следовательно, представленный в программе *PERT-анализ* должен базироваться либо на использовании дополнительных статистических данных либо на методе экспертных оценок.

В работе [71] дается следующее обоснование применимости бета распределения. Во всех системах сетевого планирования и управления (СПУ), в которых работы (операции) подвержены влиянию случайных воздействий принимается, что продолжительность работ сетевой модели является случайной величиной. Предполагается, что случайные величины продолжительностей работ подчинены принятому для данной системы СПУ закону распределения, причем тип распределения принимается одинаковым для всех работ. Что касается параметров распределения, то последние задаются для каждой работы их ответственными исполнителями на основе либо нормативных данных, либо априорных соображений, либо своего производственного опыта. Практически во всех системах СПУ априорно принимается, что плотность распределения временных оценок продолжительности работ обладает тремя свойствами: непрерывностью, унимодальностью, двумя неотрицательными точками пересечения этой зависимости с осью абсцисс. Простейшим распределением с подобными свойствами является бета распределение. В результате в системах СПУ типа *PERT* задаются три параметра: нижняя грань области определения (*оптимистическое время*), верхняя грань (*пессимистическое время*) и мода распределения (*наиболее вероятное значение*). В других системах *СПУ* (например, в некоторых отечественных) задаются всего два параметра - оценки a и b .

В работе [41], вместо обоснования применимости бета распределения, делается предположение о том, что методика оценки строительных программ может базироваться на известной разновидности бета распределения плотности вероятности случайной величины. Далее автор работы [41] уже считает, что эта функция хорошо учитывает влияние случайных отклонений рассматриваемых величин и уровень воздействия управляющих решений. Представленная формула расчета плотности вероятности случайной величины x , определена следующим выражением:

$$\varphi(x) = \frac{(\xi+1)(\xi+2)(\xi+3)}{2(b-a)^{\xi+3}} (x-a)^{\xi} (b-x)^2, \quad (3.3)$$

где a – минимально возможный срок окончания этапа работ;

b – максимально возможный срок окончания этапа работ;

ξ – параметр функции, учитывающий эффективность

функционирования системы управления.

Расчет математического ожидания и дисперсии случайной величины продолжительности для данного вида бета распределения предложено проводить по следующей формуле

$$T = \frac{b\xi + b + 3a}{\xi + 4}, \quad D = \frac{3(\xi+1)(b-a)^2}{(\xi+4)^2(\xi+5)}. \quad (3.4)$$

Относительно параметра, учитывающего эффективность функционирования системы управления, в работе [41] сказано следующее. При активном контроле за ходом строительства и проведении корректирующих планов 1-2 раза в неделю значение ξ можно принять близким к 0,5.

Таким образом, можно констатировать, что имеет место определенная эволюция в обосновании выбора подходящей функции распределения случайной продолжительности, учитывающей качество управления. Однако вместе с тем следует отметить отсутствие физического смысла численного значения данного параметра.

3.2.3 Учет качества управления в описании случайных продолжительностей работ.

Статистическое определение продолжительности является преимущественной альтернативой экспертной оценке. Для обоснования формы кривой распределения, учитывающей качество управления процессом достижения своевременности выполнения работ, обратимся к статье [82]. В данной работе, для обоснования вида кривой распределения случайной продолжительности работы, использован следующий эмпирический факт: вероятность меньшего отклонения от плановой продолжительности выше вероятности большего отклонения от той же плановой продолжительности. Отсюда вытекает следствие: кривая, отражающая распределение плотности вероятности случайной продолжительности, – это монотонно убывающая функция. Но поскольку на отрезке $[a, b]$ можно определить достаточно

большое количество монотонно убывающих функций, то для уменьшения их исходного множества введем следующее ограничивающее условие, вытекающее из учета противодействия процессу несвоевременного выполнения работ. Суть его заключается в том, что, чем больше отставание проекта от графика, тем больше управленческих усилий необходимо приложить для его устранения.

Рассмотрим первую производную функции плотности вероятности по времени $df(t)/dt$. Сама функция плотности распределения показывает вероятность конкретного значения случайной величины, следовательно, первая производная показывает скорость изменения этой вероятности. Если скорость увеличения вероятности возрастает, то необходимо пропорциональное управленческое усилие, противодействующее этому возрастанию. В результате процесс пропорционального управленческого противодействия несвоевременности выполнения работы может быть описан следующим дифференциальным уравнением:

$$\frac{df(t)}{dt} - \alpha \cdot f(t) = 0, \quad (3.5)$$

где α – коэффициент пропорциональности, учитывающий изменение силы противодействия возникновению несвоевременности.

Интегрируя уравнение (3.5), получаем экспоненциальную функцию распределения плотности вероятности, которую можно представить в следующем виде:

$$f(t) = \frac{1}{m-a} \exp \frac{-(t-a)}{m-a}. \quad (3.6)$$

где m – параметр, определяющий математическое ожидание случайной продолжительности работы;

a – минимальная продолжительность, которая при традиционным детерминированном планировании определяется как плановая продолжительность.

Заметим что в обоих знаменателях формулы (3.7) разность между математическим ожиданием и минимальной продолжительностью определяется средним квадратичным (стандартным) отклонением σ , и тогда экспоненциальную зависимость (3.6) можно представить в виде.

$$f(t) = \frac{1}{\sigma} \exp \frac{-(t-a)}{\sigma}. \quad (3.7)$$

На графике рисунка 3.3 показана соответствующая зависимость.

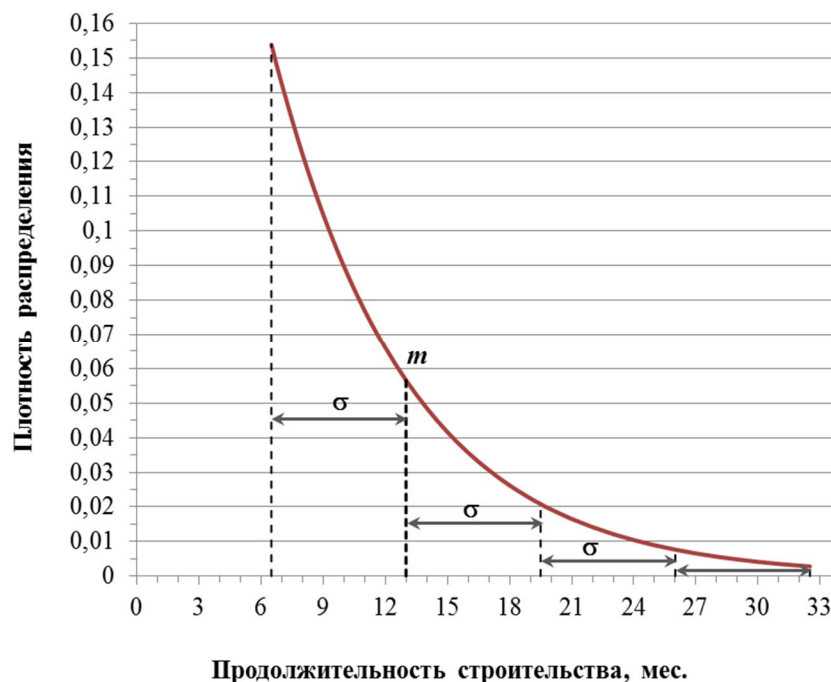


Рисунок 3.3. Плотность вероятности экспоненциального распределения, определяемая размахом 4σ .

В практических целях для четкого определения верхней границы данного распределения можно ввести его условный размах, имеющий ширину - 4σ .

Если принять данное условие, то доверительная вероятность нахождения продолжительности работы, определенная диапазоном от $m-0.5\sigma$ до $m+1.5\sigma$ будет составлять более 98%. В результате экспоненциальное распределение будет разделено на квартили, равные ширине стандартного отклонения, а математическое ожидание будет делить общий размах в соотношении один к трем. С учетом этого формула (3.7) будет иметь следующий вид

$$f(t) = \frac{4}{b-a} \exp \frac{-4(t-a)}{b-a}. \quad (3.8)$$

Практически во всех современных программных продуктах имеется встроенный генератор случайных чисел (*Rnd*), который генерирует равномерно распределенные случайные числа в диапазоне от 0 до 1. С учетом определенного преобразования для генерирования случайной продолжительности, определяемой экспоненциальным распределением, формула соответствующего генератора будет иметь вид.

$$t = a - \frac{b-a}{4} \ln(Rnd). \quad (3.9)$$

Рассмотрим примеры, подтверждающие принятые выше предположения. В издании [21] рассмотрена динамика усилий по мере выполнения работ, и установлено, что эти усилия растут при приближении к плановой дате их завершения (см. рисунок 3.4).

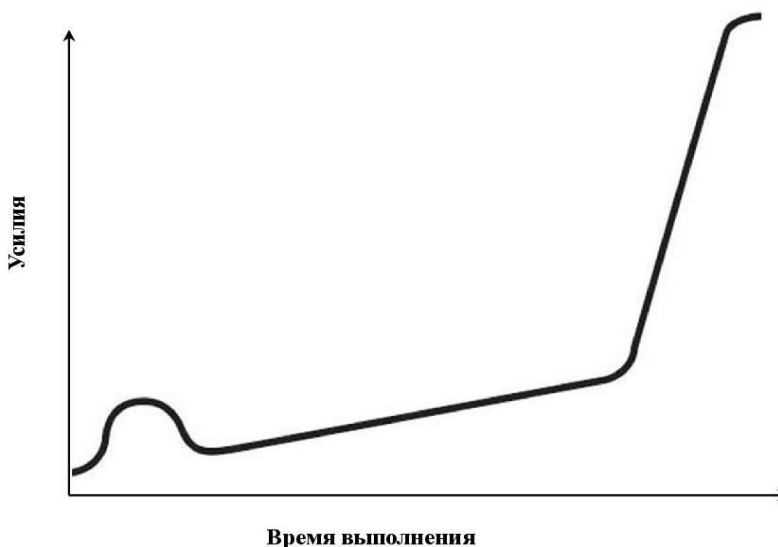


Рисунок 3.4 Зависимость усилия управления от времени [21].

А поскольку именно в конце выполнения любой работы расхождение с планом увеличивается, то это подтверждает справедливость принятого предположения.

Приведем другой пример, представленный в работе [83] и связанный со статистикой по запаздыванию выполнения строительных проектов. Для наиболее распространенного вида контрактов *LSC*, характеризующихся фиксированной стоимостью и продолжительностью, имеется статистика относительного запаздывания, которая показана в таблице 3.1. В верхней строке таблицы 3.1 определены диапазоны, в пределах которых определялись запаздывания; во второй – центры этих диапазонов, а в третьей – эмпирические частоты соответствующих запаздываний. В четвертой и пятой строках показаны рассчитанные статистические характеристики представленной выборки.

Таблица 3.1

Статистическая обработка данных по запаздываниям работ

1. Диапазон	0-20%	21-50%	51-100%	101-200%	Суммы
2. Центр диапазона	10%	35%	75%	150%	

3. Частоты	52,0%	27,0%	18,0%	3,0%	100%
4. Среднее запаздывание					32,65%
5. Стандартное отклонение					31,69%
6. по СКО	62,7%	28,5%	8,1%	0,7%	100%
7. $ \Delta $ по СКО	9,3%	1,5%	9,9%	2,3%	max 9,9%
8. по Регрессии	51,3%	31,3%	14,2%	3,2%	100%
9. $ \Delta $ по регрессии	0,7%	4,3%	3,8%	0,2%	max 4,3%

На основании применения аппарата регрессионного анализа получена эмпирическая формула, описывающая данные таблицы 3.1 в виде экспоненты.

$$f(t) = 86 \cdot \exp\left(\frac{-t}{31,7}\right). \quad (3.10)$$

Максимальное абсолютное отклонение регрессионных данных от их исходных статистических значений составило менее 10%.

Вместе с этим следует отметить и тот факт, что могут иметь место и такие статистические данные, которые не соответствуют экспоненциальным распределениям. В частности, такие данные имеют место в той же работе [83]. В модифицированном виде они представлены в таблице 3.2.

Таблица 3.2

Статистические данные запаздываний по контрактам *PRC* и *IRC*

1. Диапазон	0 – 20%	21 – 50%	51 – 100%	101-200%	Суммы
2. Центр диапазона	10%	35%	75%	150%	
3. Частость PRC	21,0%	20,0%	27,0%	32,0%	100%
4. Частость IRC	23,0%	15,0%	29,0%	33,0%	100%

Анализ этих данных показал монотонное возрастание запаздывания, что противоречит исходным положениям об усилении регулирующего воздействия при больших запаздываниях. Поэтому для описания подобного рода ситуаций будем считать, что сила управленческого воздействия не зависит от величины скорости отклонения, так как последняя является константой. В этом случае функция плотности распределения вероятности может быть представлена формулой линейно убывающего треугольного распределения, которая имеет следующий вид

$$f(t) = \frac{2(b-t)}{(b-a)^2}. \quad (3.11)$$

Переход от равномерного генератора, производящего случайные числа в диапазоне от 0 до 1, к генератору случайных продолжительностей, производящего треугольное распределение случайных продолжительностей в диапазоне от a до b , осуществляется по следующей формуле:

$$t = a \left[1 + \left(\frac{b}{a} - 1 \right) \left(1 - \sqrt{Rnd} \right) \right], \quad (3.12)$$

Вместе с двумя предыдущими случаями также отметим, что существуют контракты, для которых характерна большая доля неопределенности. Из теории известно, что при известных границах изменения случайной величины максимальной энтропией обладает равномерное распределение [65]. В результате для подобного рода ситуаций целесообразно использовать генератор случайных продолжительностей работ, работающий в соответствие со следующей формулой:

$$t = a + (b-a)Rnd \quad (3.13)$$

Таким образом, учет качества управления в описании случайных продолжительностей работ позволил представить математическое описание адекватных функций распределения. При организации хорошего управления строительным производством для расчета случайных продолжительностей работ можно рекомендовать формулу (3.9), для удовлетворительного качества управления можно использовать формулу (3.12), а для плохого управления формулу (3.13). При этом также можно считать, что при отличном управлении несвоевременность отсутствует.

3.2.4 Учет качества управления в методе критической цепи. На рисунке 3.5 показано несколько монотонно убывающих кривых, у которых единственной модой является значение плановой

продолжительности работы – a . Максимальная же продолжительность – b может быть определена таким предельным индексом задержки строительства, при котором заказчик закончит строительство с нулевой рентабельностью.



Рисунок 3.5 – Возможные монотонно убывающие кривые распределения плотности вероятности случайной продолжительности работы

Таким образом, оба параметра, монотонно убывающих распределений, могут определяться без использования статистических данных, а сам вид распределений полностью удовлетворяет следующим, ранее приведенным утверждениям:

- вероятность уменьшения планируемой продолжительности равна нулю;
- максимальная продолжительность определяется таким предельным индексом задержки строительства, при котором заказчик заканчивает строительство с нулевой рентабельностью;
- вероятность меньшего отклонения от плановой продолжительности больше вероятности большего отклонения от той же плановой продолжительности;
- скорость убывания вероятности отклонения от планового значения принимается либо постоянной для треугольного распределения, либо уменьшающейся для экспоненциального распределения.

Дополнительным преимуществом предложенных видов распределения является то, что они учитывают принятые в современном менеджменте механизмы управления [84], связанные с управленческими усилиями. Помимо экспертного определения качества управления может быть использованы и статистические данные, волатильность которых находится в диапазоне от a до b и по которым определяется средняя продолжительность – m . При этом для сопоставимости статистических данных усреднение должно производиться по величинам, показывающим отношения к плановой продолжительности.

Для определения качества управления необходимо определить какую среднюю продолжительность обеспечивает соответствующая функция распределения, рассчитанная по формулам (3.8) и (3.11). Для хорошего управления индекс средней несвоевременности, определяемый отношением m/a будет равен $0,75+0,25b/a$. Для удовлетворительного управления этот индекс будет примерно равен $0,67+0,33b/a$, и для плохого управления данный индекс будет равен $0,5+0,5b/a$. Для отличного управления отношение b/a считается равным единице.

На основании полученных результатов можно провести усовершенствование метода критической цепи. Как известно [21], в данном методе в качестве профилактического управленческого воздействия предлагается уменьшить плановую продолжительность в 2 раза. А если при введении такого форсированного режима исполнители все же не обеспечат своевременность выполнения всего проекта, то в этом случае будет задействован временной буфер. Предлагаемое нами усовершенствование направлено на более аргументированное количественное определение форсированной плановой продолжительности работы, которую обозначим литерой – c .

Задача ставится так. При заданном качестве управления требуется определить такую форсированную плановую продолжительность – c , при которой в среднем будет обеспечено выполнение плановой продолжительности – a .

$$\int_c^b t \cdot f(t) dt = a. \quad (3.14)$$

Определяя нижние пределы определенного интеграла для функций (3.8) и (3.11) получаем, что при хорошем управлении можно ввести форсированную плановую продолжительность равную $0,75a$, при удовлетворительном управлении можно ввести форсированную плановую продолжительность равную $0,67a$, и только при плохом управлении можно ввести форсированную плановую продолжительность равную $0,5a$. Для отличного управления введения форсированной плановой продолжительности не требуется.

3.3 Метод пространственно временной аналогии в расчете пессимистических продолжительностей работ

3.3.1 Теоретические основы метода пространственно-временной аналогии. Представленные формы генератора случайных продолжительностей работ, ориентированы на совершенствование методов статистического моделирования, к которым можно отнести и метод *PERT*. При этом для полноценного применения метода статистического моделирования, помимо задания плановых (оптимистических) значений продолжительностей работ, как минимум, потребуется определение пессимистических значений этих продолжительностей [85, 86]. Однако прежде, чем непосредственно перейти к обоснованию расчета пессимистических продолжительностей работ, рассмотрим более общий вопрос, связанный с определением горизонта планирования.

В научно-информационном пространстве имеются научные работы, в которых широко рассматриваются изменения во времени различных характеристик социально-экономических объектов. Например, в научных работах [87, 88, 89] дан анализ современных тенденций научно-технического прогресса и связанного с ним горизонта планирования, а статье [90] это понятие рассматривается применительно к финансовому праву. Таким образом, чисто физическое понятие «горизонт планирования (прогноза)» довольно часто используется в переносном смысле.

Покажем латентную (скрытую) связь горизонта планирования и нормы дисконта, которая используется для оценки эффективности инвестиционных проектов. В монографии, посвященной теории корпоративных финансов [91] утверждается, что для целей отбора наиболее пригодных инвестиционных проектов предлагается модель, основанная на расчете приведенной стоимости будущих доходов PV по следующей формуле

$$PV = \sum_{t=1}^H \frac{CF_t}{(1+E)^t}, \quad (3.15)$$

где CF_t – стоимость будущих доходов в момент времени t ;

H – горизонт прогнозируемого числа лет получения дохода от реализации проекта;

E – стоимость капитала (*cost of capital*), или стоимость денег во времени (*the time value of money*).

Под величиной E понимают такую процентную ставку, по которой приобретаются инвестиционные вложения в проект, которые в настоящее время принимаются за 100%. В простейшем случае стоимость капитала может быть связана с кредитным процентом. В общем же случае средневзвешенные затраты на привлечение капитала определяются как ставка дисконтирования, и именно она определяет изменение стоимости денег во времени [92]. Обычно дисконтируется сальдо (итог) денежного потока, определяемый как притоком, так и оттоком денежных средств, при этом дисконтный множитель рассчитывается по формуле

$$z_t = \alpha^{-t}, \quad (3.16)$$

где $\alpha = (1+E)$.

Зависимость, определяемая формулой (3.16), показана на верхнем графике рисунка 3.6.

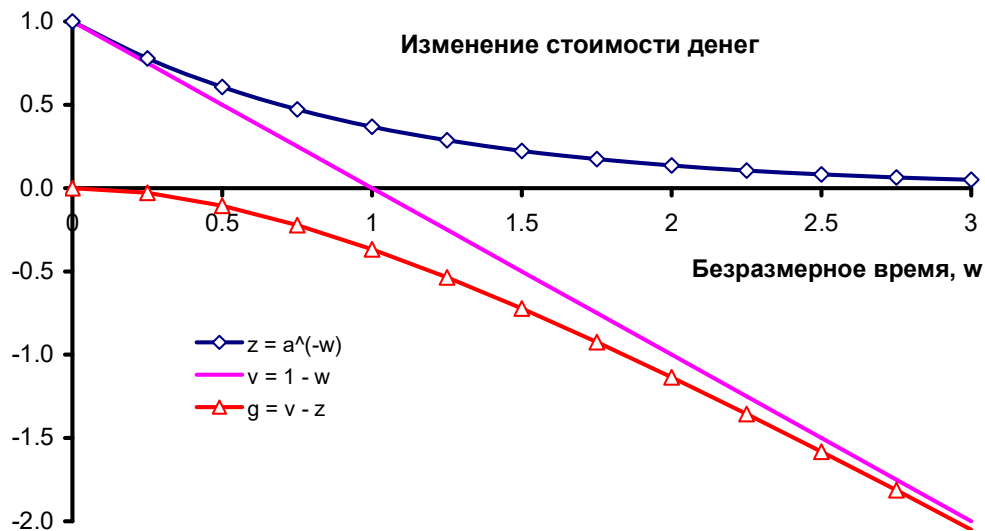


Рисунок 3.6 Графики изменения стоимости денег во времени.

На следующем (среднем) графике показана касательная к верхней кривой, определяемая значением производной в нулевой момент времени, определяемой уравнением (3.17).

$$v = dz/dt = 1 - t/\tau, \quad (3.17)$$

где τ - терминологически может быть определено, как постоянный лаг времени экспоненциального уменьшения стоимости денег, рассчитываемый по формуле $\tau = 1/\ln(\alpha)$.

На основании рассчитанного лага времени, в дальнейший анализ можно ввести безразмерное время w , определяемое отношением $w = t/\tau$. Тогда уравнения для дисконтного множителя и соответствующей касательной к нему будут иметь следующий вид

$$z = \alpha^{-w}, \quad v = 1 - w. \quad (3.18)$$

Третий график, обозначенный литерой g , моделирует криволинейную координату времени так, что расстояние от нее до касательной равняется значению дисконтного множителя

$$g = v - z. \quad (3.19)$$

В результате полученное отображение может характеризоваться как пространственно-стоимостная аналогия. Действительно, если кривую g интерпретировать как поверхность земли, то современная стоимость, принятая за единицу будет асимптотически уменьшаться до нуля. Отличие данной модели от чисто пространственной модели, определяющей перспективное уменьшение геометрических размеров предметов, заключается в изменении значения кривизны линии g . На основе анализа данной модели можно установить практический предел, ниже которого не рационально учитывать уменьшение дисконтного множителя, и этот предел как раз и будет характеризовать искомый горизонт прогноза.

Например, в качестве такого предела можно использовать время, равное 3τ , так как по прошествии этого времени значение дисконтного множителя будет уменьшено более чем в 20 раз, и тогда горизонт прогноза H можно рассчитать в соответствии с нормой дисконта E , выбранной инвесторами для расчета экономической эффективности инвестиционного строительного проекта.

$$H = 3 / \ln(1+E). \quad (3.20)$$

Используем формулу (3.20), полученную на основе пространственно-стоимостной аналогии, для следующей модели, базирующейся на рассмотрении пространственно-временной аналогии. На рисунок 3.7 показана геометрическая модель, определяющая уменьшение продолжительности работы по аналогии с уменьшением истинных размеров предметов при их рассмотрении в перспективе.

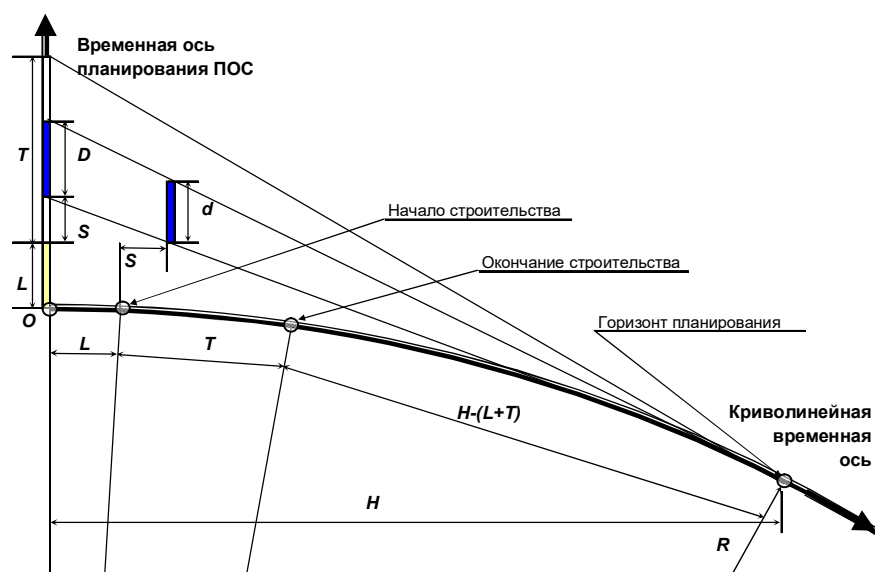


Рисунок 3.7 Геометрическое представление перспективы уменьшения продолжительности

Известно, что визуальный эффект, определяемый как перспектива, зависит от радиуса поверхности Земли R и от высоты нахождения наблюдателя над её уровнем. При перенесении пространственной перспективы на отображаемую плоскость, например на плоскость рисунка, используют свойство схождения параллельных линий в точке горизонта, дальность которого H отсчитывают от места нахождения наблюдателя. В результате, с точки зрения наблюдателя, горизонтом называется линия, характеризующаяся видимым схождением неба и земли. Развивая принятую аналогию необходимо определить высоту нахождения наблюдателя, которая определяется моментом окончания строительства, поскольку именно с этого момента можно оценить срок окупаемости всего проекта.

Поскольку представленная модель ориентирована на её использование в организационном проектировании строительства, то за точку анализа будущих характеристик инвестиционного строительного проекта может быть принят момент окончания проектирования календарного плана работ. В результате сумма продолжительности строительства объекта – T и лаг времени между окончанием проектирования и началом строительства – L определяют «высоту» нахождения наблюдателя.

При этом следует указать на отличие от чисто геодезической задачи [93], в которой радиус кривизны земной поверхности является константой. Отличие заключается в том, что срок окупаемости – это изначально заданная величина, а «высота» наблюдения определяется окончанием проектирования календарного плана, и тогда возникающая «временная» кривизна, как раз и будет определять искомый эффект перспективы уменьшения продолжительностей работ во времени. Отсюда следует, что для рассматриваемой задачи радиус кривизны является расчетным параметром. Его определение необходимо для оценки тех приближений, которые использованы при выводе расчетных формул. Радиус «временной» кривизны – R , определяется следующим выражением

$$R = \frac{H^2 - (L + T)^2}{2(L + T)}. \quad (3.21)$$

При выводе формулы (3.21) принято, что длина касательной, определенной расстоянием от точки горизонта до пересечения с ординатой, приравнена соответствующей длине дуги горизонта. На самом деле, согласно работе [93], относительное увеличение длины касательной определяется формулой

$$G = H + \frac{H^3}{3R^2}, \quad (3.22)$$

где G – абсолютное значение длины отрезка касательной.

Покажем возникающую погрешность на примере. Для $H=5$ лет, $L+T=1$ год, получаем $R=12$ лет и $G=5.29$ лет, что соответствует погрешности менее 6%. Таким образом, на основании представленных приближений для вывода искомых формул можно использовать линейную модель.

Возьмем произвольную работу, начало и продолжительность которой определены литерами – S и – D соответственно, и определим на ней элементарную длину dX , отстоящую от её начала на расстоянии X . Тогда любая элементарная длина (продолжительность) работы в силу её перспективного уменьшения при приближении к точке горизонта – H , будет определять общее уменьшение в соответствии со следующим интегралом

$$d = D \int_{L+S}^{L+S+D} \frac{H-L-S-X}{H} dX = D \left(1 - \frac{L+S+0.5D}{H} \right). \quad (3.23)$$

Выведенная формула показывает, что с удалением работы в сторону горизонта планирования ее видимая продолжительность уменьшается. Это приводит к тому, что, планируя календарный график в настоящем времени и перенося его в будущее время, мы тем самым занижаем возможные продолжительности работ. Поэтому для того чтобы скомпенсировать риск перспективы фактического увеличения продолжительностей работ, необходимо каждую i -ю работу скорректировать с помощью дополнительного множителя k_i , рассчитанного по формуле

$$k_i = \frac{H}{H-L-S_i-0.5D_i}. \quad (3.24)$$

Анализируя формулу (3.24) можно отметить, что риск перспективного увеличения продолжительности работы будет больше при увеличении времени между окончанием проектирования календарного плана и началом строительства, а также при увеличении начала работы и её продолжительности. При этом заметим, что формула (3.24) применима при $T+L < H$, с учетом принятой ранее линейаризации, при $T+L \ll H$. Иными словами горизонт планирования должен, по крайней мере, в три раза превышать продолжительность строительства T в сумме с лагом времени L . Совершенно очевидно, что данное условие будет выполняться автоматически для всех инвестиционных строительных проектов, у которых внутренняя норма доходности не будет превышать 30% годовых. Из формулы (3.24) также следует, что при асимптотическом стремлении горизонта планирования к бесконечности все множители перспективного увеличения продолжительностей будут стремиться к единице. Это следует из того, что доля продолжительности инвестиционного периода будет пренебрежимо мала при бесконечно большом горизонте планирования.

В результате представленная модель в условиях полного отсутствия репрезентативной статистики дает возможность проводить вероятностное планирование календарных планов на основе информации о норме дисконта, и детерминированных параметров разработанного календарного плана строительства.

3.3.2 Определение горизонта планирования на основе использования нормы дисконта. В анализируемой нами модели, описанной в работах [94, 95], принято, в качестве предела использовать время, равное 3τ . Однако недостатком такого подхода является зависимость оценки горизонта планирования от субъективно принятой погрешности. Поэтому, с целью объективизации расчетной оценки горизонта планирования предлагается модель, основные характеристики которой представлены на рисунке 3.8.

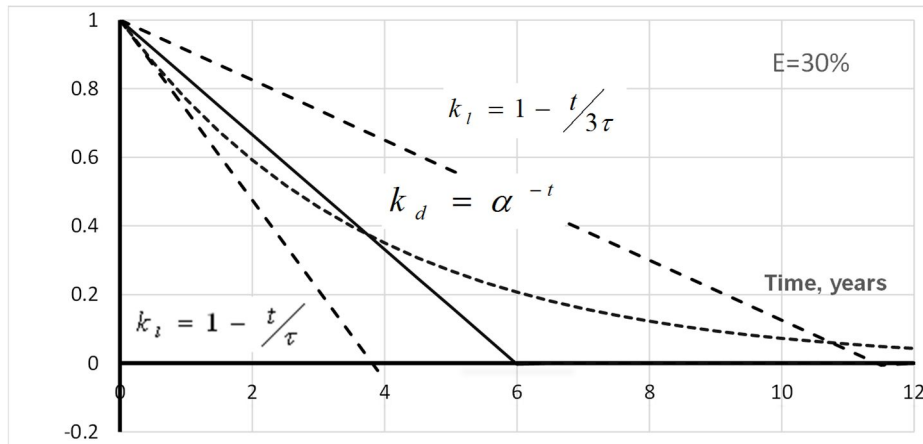


Рисунок 3.8 Коэффициент дисконтирования k_d и его линейная аппроксимация k_l в функции от времени, определенного в годах

Минимальное значение горизонта планирования может быть определено точкой пересечения касательной, определенной в нулевой точке коэффициента дисконтирования, и оси времени, а максимальное значение горизонта планирования – H определено величиной 3τ . Оба рассмотренных случая могут быть описаны следующие неравенствами

$$\begin{aligned} k_d &> 1 - \frac{t}{\tau} \quad \text{при } t < \frac{1}{\text{Ln}\alpha} \\ k_d &> 1 - \frac{t}{3\tau} \quad \text{при } t < \frac{3}{\text{Ln}\alpha} \end{aligned} \quad (3.25)$$

Сравнение двух вариантов линейной аппроксимации показывает, что в первом случае абсолютная погрешность достигает 35%, а во втором случае она равна 25%. Уменьшить эти погрешности можно путем построения такой усредненной линейной зависимости, которая рассекала бы линию экспоненциально определенного дисконтирующего множителя на две, равные по площади, части (на рисунке 3.8 данная секущая представлена сплошной линией). В математическом плане такая задача сводится к решению уравнения следующего вида

$$\int_0^H \alpha^{-t} dt = \frac{H}{2}. \quad (3.26)$$

Левая часть уравнения (3.26) показывает возрастание площади, определяемой коэффициентом дисконтирования, а правая часть показывает возрастание площади, определяемой линейной аппроксимацией коэффициента дисконтирования. В результате решения уравнения (3.26), абсцисса точки пересечения этих двух кривых определит искомый горизонт планирования. Интегрирование уравнения (3.26) приводит к следующему трансцендентному уравнению

$$1 - \frac{H}{2} \text{Ln}\alpha - \alpha^{-H} = 0. \quad (3.27)$$

Приближенное решение этого уравнения определяется следующей функцией

$$H = \frac{\pi}{2\text{Ln}\alpha}. \quad (3.28)$$

Анализ показал, что при изменении нормы дисконта в диапазоне от 5 до 50%, относительная погрешность в определении горизонта планирования, рассчитанная по формуле (3.28), не превышает 2%.

Далее рассмотрим, какое будет значение коэффициента дисконтирования в точке, определяемой горизонтом планирования, рассчитанного по формуле (3.28). При определении этого значения используем известную формулу перехода к основанию натурального логарифма. С учетом данного преобразования получаем минимальное значение коэффициента дисконтирования, определяемое следующей величиной

$$\min k_d = \alpha^{-H} = e^{\pi/2} \approx 0.208. \quad (3.29)$$

Как видно, полученное значение минимального коэффициента дисконтирования является константой, не зависящей от нормы дисконта. Данное значение показывает, что все процессы, которые могут иметь место после горизонта планирования, не учитываются, поскольку современная стоимость этих денежных потоков, уменьшается более чем в 5 раз.

Анализ показал, что ранее представленные формулы, в соответствие с которыми определялись пессимистические продолжительности строительных работ, также требуют определенной корректировки. Дело в том, что эти формулы были получены исходя из предположения о линейном характере уменьшения продолжительности работы в функции от ее временного смещения по оси времени. Однако при выводе данных формул не учтено то, что новые пессимистические продолжительности генерируют новое расписание работ, и соответствующие ему новые начала работ. Таким образом, правильность расчета будет соответствовать только 1-й итерации расчета.

Другим недостатком линейного подхода к расчету пессимистических продолжительностей работ является то, что при нахождении начала работы в непосредственной близости к точке, определяющей горизонт планирования, возрастание пессимистической продолжительности стремится к бесконечности. Этот недостаток устраняется, принятым нами минимальным значением коэффициента дисконтирования, определенным выражением (3.29). Исходя из полученного значения, предел максимального

относительного увеличения продолжительности работы будет соответствовать обратной величине минимального коэффициента дисконтирования, равной 4.81. Следуя данной логике, в пределах от нуля до значения горизонта планирования, можно принять за относительное значение пессимистической продолжительности величину обратную коэффициенту дисконтирования. В результате значение новой продолжительности работы t_m будет определяться следующим выражением

$$t_m = \int_a^b \alpha^t dt = \frac{\alpha^b - \alpha^a}{\ln \alpha} = \frac{\alpha^a (\alpha^t - 1)}{\ln \alpha}, \quad (3.30)$$

где a и b – текущие сроки начала и окончания работы;

t – текущая продолжительность работы.

Таким образом, алгоритм расчета пессимистических продолжительностей работ сводится к выполнению следующей последовательности вычислительных операций.

1-й шаг. При заданных плановых продолжительностях работ, которые по умолчанию считаются оптимистическими, рассчитывается расписание и соответствующая ему общая продолжительность строительства.

2-й шаг. При заданной норме дисконта и в соответствие с формулой (3.30) определяется горизонт планирования.

3-й шаг. Проверяется условие не превышения продолжительности строительства горизонту планирования, и, если это условие не выполняется, то дальнейший расчет пессимистических продолжительностей не производится.

4-й шаг. По формуле (3.31), в которую входят текущие сроки старта работ и их текущие продолжительности, рассчитываются конечные продолжительности работ.

5-й шаг. На основе рассчитанных конечных продолжительностей работ производится общий расчет всего расписания работ и производится проверка условия, описанного в 3-м шаге алгоритма.

6-й шаг. Если условие 3-го шага алгоритма выполняется, то проверяется актуальность в увеличении пессимистических продолжительностей. Если приращение всех конечных продолжительностей меньше 1 дня, то соответствующие конечные продолжительности принимаются в качестве пессимистических и расчет заканчивается. В противном случае осуществляется возврат к 4-му шагу алгоритма.

Описанный алгоритм реализован в форме макроса, написанного на языке Visual Basic for Application в среде компьютерной программы управления проектами Microsoft Project.

В заключении данного пункта предлагаются следующие выводы. Результаты, разработанной модели, основанной на параметризации пессимистических продолжительностей работ и горизонта планирования на основе нормы дисконта, могут быть реализованы в условиях полного отсутствия репрезентативной статистики. Разработанная модель дает возможность проводить вероятностное планирование календарных планов на основе информации о норме дисконта, и детерминированных параметров календарного плана строительства, что имеет особенное значение в проектировании организации строительства на стадии бизнес-планирования и на стадии осуществления проектно-исследовательских работ.

3.3.3 Примеры статистического моделирования календарных планов строительства при минимальных исходных данных. Рассмотрим подробнее вопросы формирования случайных календарных планов организации строительства с учетом особенностей сетевых и поточных организационно-технологических методов и моделей.

Среди методов и моделей календарного планирования традиционно выделяют два класса – это класс поточных методов и моделей и класс сетевых методов и моделей [5]. Визуально-топологическое отличие этих классов моделей сводится к нюансу между универсальной структурой, требующей некоторого более обобщенного описания, и регулярной структурой, описываемой более простыми, в частности, матричными моделями. По нашему опыту организационного проектирования можно отметить, что возможно описание поточной структуры сетевыми методами, а сетевой структуры – матричными методами.

Другим отличием между используемыми классами моделей являются методы расчета расписаний работ. Обычно, для сетевых моделей в программах управления проектами применяется так называемый метод критического пути, разработанный Келли и Уоркером. Для поточных моделей используются

другие методы расчета, связанные в большинстве случаев с определением периодов развертывания различных частных потоков, входящих в конкретный вид общего потока. Профессор В.А. Афанасьев унифицировал известные потоки, дополнив их потоком с критическими работами, применив к нему метод критического пути, что дало возможность диверсифицировать и синтезировать поточные методы, объединив их с сетевыми моделями, рассчитанными по методу критического пути.

Таким образом, в методологическом плане мы можем на основе матричной структуры провести испытания ранее выделенных типов ГСП и сделать по ним соответствующие статистические выводы. Для нас важен вывод о том, возможно ли используя один вид ГСП получить итоговое распределение, соответствующее итоговому распределению, полученному при использовании другого вида ГСП. Для этого сравним две схемы организации работ, определенные поточным методом с непрерывным освоением фронтов (НОФ) и сетевым методом критического пути (МКП).

Применительно к каждому методу организации работ используем два ГСП: один генерирующий треугольное распределение, а другой – равномерное распределение. Определим диапазон изменения индекса размаха от 0 до 1,2 с шагом в 0,05. На рисунках 3.11 – 3.14 показаны результаты статистического эксперимента для всех 4-х вариантов, при этом за итоговую характеристику принято абсолютное превышение случайной общей продолжительности от ее детерминированного значения. Соответствующие графики всех полученных распределений показаны на рисунке 3.15 в виде дифференциальных кривых распределения случайных отклонений.

Рассмотрим полученные особенности представленных методов организации работ. В расписаниях, рассчитанных по поточному методу организации работ с непрерывным освоением объектов, серой тонировкой выделен обобщенный критический путь. Свойства выделенного пути таковы, что он так же, как и традиционный критический путь, включает критические работы, часть из которых может иметь отрицательные значения [77]. Это значит, что при увеличении случайной продолжительности таких (отрицательных) работ, можно ожидать некоторого снижения общей случайной продолжительности комплекса работ. В пределах же свободных резервов времени, имеющих место в любых расписаниях, генерируемые случайные продолжительности вообще не оказывают своего влияния на общую продолжительность. Наличие же свободных резервов времени зависит от многих обстоятельств, в частности, от топологии работ, метода расчета расписания, от ограничений на сроки производства работ и др.

В итоге даже такая сравнительно аддитивная характеристика расписания работ как общая продолжительность строительства является независимой величиной, определяемой множеством факторов и ее распределение является уникальным при использовании различных видов ГСП.

Общ. индекс размаха = 1,00				Треугольный генератор				Тплан= 48		ΔТслч= 0,00	
AI	5,0	0,0	0,0	AII	7,0	8,0	5,0	AIII	3,0	0,0	20,0
		5,0				12,0				23,0	23,0
BI	4,0	3,0	5,0	BII	6,0	5,0	12,0	BIII	2,0	1,0	23,0
		9,0				18,0				25,0	26,0
VI	8,0	1,0	9,0	VII	7,0	0,0	18,0	VIII	5,0	2,0	32,0
		17,0				25,0				30,0	32,0
ГI	6,0	2,0	17,0	ГII	4,0	1,0	25,0	ГIII	4,0	5,0	39,0
		23,0				29,0				34,0	39,0
ДИ	5,0	1,0	23,0	ДИI	3,0	2,0	29,0	ДИII	6,0	4,0	44,0
		28,0				32,0				40,0	44,0
											48,0
Общ. индекс размаха = 1,05				Треугольный генератор				Тплан= 48		ΔТслч= 1,02	
AI	5,1	0,0	0,0	AII	7,1	8,1	5,1	AIII	3,1	0,0	20,3
		5,1				12,2				23,4	23,4
BI	4,1	3,0	5,1	BII	6,1	5,1	12,2	BIII	2,0	1,0	23,4
		9,2				18,3				25,4	26,4
VI	8,3	0,8	9,2	VII	7,1	0,0	18,3	VIII	5,1	2,0	25,4
		17,5				25,4				30,5	32,5
ГI	6,1	1,8	17,5	ГII	4,0	1,1	25,4	ГIII	4,0	5,2	30,5
		23,6				29,4				34,5	39,8
ДИ	5,1	0,6	23,6	ДИI	3,1	2,1	29,4	ДИII	6,0	4,4	34,5
		28,8				32,5				40,6	44,9
											49,0
Общ. индекс размаха = 1,10				Треугольный генератор				Тплан= 48		ΔТслч= 1,43	
AI	5,1	0,0	0,0	AII	7,1	8,3	5,1	AIII	3,1	0,0	20,5
		5,1				12,2				23,6	23,6
BI	4,2	2,9	5,1	BII	6,3	5,0	12,2	BIII	2,1	1,0	23,6
		9,3				18,5				25,7	26,6
VI	8,1	1,1	9,3	VII	7,1	0,0	18,5	VIII	5,3	1,8	25,7
		17,4				25,7				30,9	32,8
ГI	6,5	1,8	17,4	ГII	4,2	1,1	25,7	ГIII	4,2	4,9	30,9
		23,9				29,8				35,1	40,0
ДИ	5,2	0,8	23,9	ДИI	3,2	2,1	29,8	ДИII	6,3	3,8	35,1
		29,1				33,0				41,4	45,2
											49,4
Общ. индекс размаха = 1,15				Треугольный генератор				Тплан= 48		ΔТслч= 2,84	
AI	5,0	0,0	0,0	AII	7,2	8,6	5,0	AIII	3,1	0,0	20,8
		5,0				12,2				23,9	23,9
BI	4,3	2,9	5,0	BII	6,1	5,7	12,2	BIII	2,0	1,4	23,9
		9,3				18,3				25,9	27,3
VI	8,2	0,8	9,3	VII	7,7	0,0	18,3	VIII	5,1	2,7	25,9
		17,5				25,9				31,0	33,7
ГI	6,0	2,5	17,5	ГII	4,3	0,8	25,9	ГIII	4,4	5,8	31,0
		23,5				30,3				35,4	41,2
ДИ	5,0	1,7	23,5	ДИI	3,2	1,9	30,3	ДИII	6,8	4,7	31,0
		28,5				33,5				42,2	46,8
											50,8
Общ. индекс размаха = 1,20				Треугольный генератор				Тплан= 48		ΔТслч= 4,02	
AI	5,8	0,0	0,0	AII	7,2	9,0	5,8	AIII	3,0	0,0	22,0
		5,8				13,0				25,0	25,0
BI	4,3	3,0	5,8	BII	6,4	5,6	13,0	BIII	2,1	1,4	25,0
		10,0				19,4				27,1	28,5
VI	8,8	0,6	10,0	VII	7,7	0,0	19,4	VIII	5,2	2,4	27,1
		18,8				27,1				32,3	34,7
ГI	6,1	2,1	18,8	ГII	4,2	1,1	27,1	ГIII	4,3	5,2	27,1
		24,9				31,2				36,6	41,8
ДИ	5,3	1,0	24,9	ДИI	3,2	2,1	31,2	ДИII	6,3	4,7	32,3
		30,3				34,5				42,9	47,7
											52,0

Рисунок 3.11 – Поток с непрерывным освоением фронтов работ (треугольный ГСП)

Общ. индекс размаха = 1,00 Равномерный генератор Тплан= 48 ΔТслч= 0,00

AI	5,0	0,0	AII	7,0	8,0	AIII	3,0	0,0	AIV	3,0	
	0,0	5,0		5,0	12,0		20,0	23,0		23,0	26,0
BI	4,0	3,0	BII	6,0	5,0	BIII	2,0	1,0	BIV	6,0	
	5,0	9,0		12,0	18,0		23,0	25,0		26,0	32,0
VI	8,0	1,0	VII	7,0	0,0	VIII	5,0	2,0	ВIV	7,0	
	9,0	17,0		18,0	25,0		25,0	30,0		32,0	39,0
ГI	6,0	2,0	ГII	4,0	1,0	ГIII	4,0	5,0	ГIV	5,0	
	17,0	23,0		25,0	29,0		30,0	34,0		39,0	44,0
ДИ	5,0	1,0	ДИI	3,0	2,0	ДИII	6,0	4,0	ДИV	4,0	
	23,0	28,0		29,0	32,0		34,0	40,0		44,0	48,0

Общ. индекс размаха = 1,05 Равномерный генератор Тплан= 48 ΔТслч= 1,43

AI	5,2	0,0	AII	7,1	8,5	AIII	3,1	0,0	AIV	3,1	
	0,0	5,2		5,2	12,3		20,8	23,8		23,8	26,9
BI	4,1	3,0	BII	6,2	5,3	BIII	2,0	1,1	BIV	6,1	
	5,2	9,3		12,3	18,5		23,8	25,8		26,9	33,0
VI	8,1	1,2	VII	7,3	0,0	VIII	5,0	2,2	ВIV	7,2	
	9,3	17,3		18,5	25,8		25,8	30,8		33,0	40,2
ГI	6,1	2,4	ГII	4,1	0,9	ГIII	4,1	5,2	ГIV	5,2	
	17,3	23,5		25,8	29,9		30,8	34,9		40,2	45,4
ДИ	5,1	1,4	ДИI	3,1	1,9	ДИII	6,2	4,3	ДИV	4,0	
	23,5	28,5		29,9	33,0		34,9	41,1		45,4	49,4

Общ. индекс размаха = 1,10 Равномерный генератор Тплан= 48 ΔТслч= 1,93

AI	5,0	0,0	AII	7,6	8,0	AIII	3,3	0,0	AIV	3,3	
	0,0	5,0		5,0	12,7		20,7	24,0		24,0	27,3
BI	4,2	3,4	BII	6,0	5,3	BIII	2,1	1,2	BIV	6,4	
	5,0	9,2		12,7	18,7		24,0	26,1		27,3	33,6
VI	8,3	1,2	VII	7,3	0,0	VIII	5,4	2,2	ВIV	7,0	
	9,2	17,5		18,7	26,1		26,1	31,5		33,6	40,7
ГI	6,4	2,1	ГII	4,3	1,1	ГIII	4,3	4,9	ГIV	5,2	
	17,5	23,9		26,1	30,4		31,5	35,8		40,7	45,9
ДИ	5,0	1,4	ДИI	3,3	2,1	ДИII	6,0	4,1	ДИV	4,1	
	23,9	28,9		30,4	33,7		35,8	41,8		45,9	49,9

Общ. индекс размаха = 1,15 Равномерный генератор Тплан= 48 ΔТслч= 1,98

AI	5,1	0,0	AII	7,3	7,7	AIII	3,3	0,0	AIV	3,1	
	0,0	5,1		5,1	12,4		20,1	23,4		23,4	26,5
BI	4,2	3,1	BII	6,1	4,9	BIII	2,1	1,1	BIV	6,5	
	5,1	9,2		12,4	18,4		23,4	25,4		26,5	33,0
VI	8,5	0,7	VII	7,0	0,0	VIII	5,6	2,0	ВIV	7,2	
	9,2	17,8		18,4	25,4		25,4	31,0		33,0	40,2
ГI	6,6	1,0	ГII	4,4	1,2	ГIII	4,2	5,0	ГIV	5,6	
	17,8	24,4		25,4	29,8		31,0	35,3		40,2	45,8
ДИ	5,1	0,4	ДИI	3,4	2,0	ДИII	6,3	4,3	ДИV	4,1	
	24,4	29,5		29,8	33,3		35,3	41,5		45,8	50,0

Общ. индекс размаха = 1,20 Равномерный генератор Тплан= 48 ΔТслч= 5,86

AI	5,4	0,4	AII	7,1	8,8	AIII	3,1	0,0	AIV	3,3	
	0,0	5,4		5,8	12,9		21,7	24,8		24,8	28,1
BI	4,7	2,8	BII	6,9	5,0	BIII	2,0	1,3	BIV	7,0	
	5,4	10,2		12,9	19,8		24,8	26,8		28,1	35,1
VI	8,8	0,8	VII	7,0	0,0	VIII	5,2	3,1	ВIV	8,1	
	10,2	18,9		19,8	26,8		26,8	32,0		35,1	43,2
ГI	7,1	0,7	ГII	4,3	0,9	ГIII	4,4	6,8	ГIV	6,0	
	18,9	26,1		26,8	31,1		32,0	36,4		43,2	49,2
ДИ	5,0	0,0	ДИI	3,4	1,9	ДИII	6,9	5,9	ДИV	4,7	
	26,1	31,1		31,1	34,5		36,4	43,3		49,2	53,9

Рисунок 3.12 – Поток с непрерывным освоением фронтов работ (равномерный ГСП)

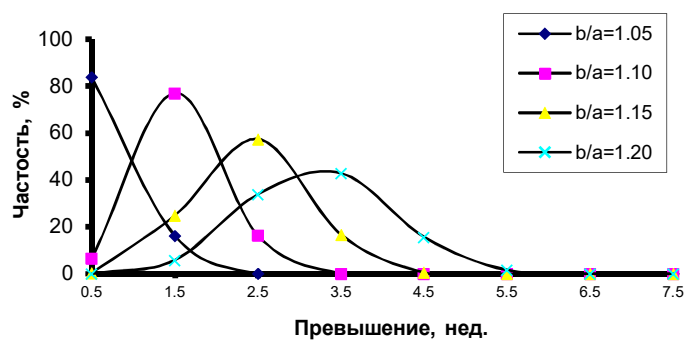
Общ. индекс размаха = 1,00			Треугольный генератор			Тплан= 46		ΔТслч= 0,00		
AI	5,0	0,0	AII	7,0	0,0	AIII	3,0	0,0	AIV	3,0
0,0		5,0	5,0		12,0	12,0		15,0	15,0	18,0
BI	4,0	3,0	BII	6,0	0,0	BIII	2,0	0,0	BIV	6,0
5,0		9,0	12,0		18,0	18,0		20,0	20,0	26,0
VI	8,0	1,0	BII	7,0	0,0	BIII	5,0	0,0	BIV	7,0
9,0		17,0	18,0		25,0	25,0		30,0	30,0	37,0
ГI	6,0	2,0	ГII	4,0	1,0	ГIII	4,0	3,0	ГIV	5,0
17,0		23,0	25,0		29,0	30,0		34,0	37,0	42,0
ДИ	5,0	1,0	ДИI	3,0	2,0	ДИII	6,0	2,0	ДИV	4,0
23,0		28,0	29,0		32,0	34,0		40,0	42,0	46,0
Общ. индекс размаха = 1,05			Треугольный генератор			Тплан= 46		ΔТслч= 0,49		
AI	5,1	0,0	AII	7,0	0,0	AIII	3,1	0,0	AIV	3,1
0,0		5,1	5,1		12,2	12,2		15,3	15,3	18,3
BI	4,0	3,0	BII	6,0	0,0	BIII	2,0	0,0	BIV	6,0
5,1		9,2	12,2		18,2	18,2		20,2	20,2	26,2
VI	8,2	0,9	BII	7,1	0,0	BIII	5,0	0,0	BIV	7,1
9,2		17,3	18,2		25,3	25,3		30,3	30,3	37,3
ГI	6,2	1,7	ГII	4,0	1,0	ГIII	4,1	3,0	ГIV	5,1
17,3		23,5	25,3		29,3	30,3		34,4	37,3	42,4
ДИ	5,2	0,6	ДИI	3,0	2,1	ДИII	6,0	2,0	ДИV	4,1
23,5		28,7	29,3		32,3	34,4		40,4	42,4	46,5
Общ. индекс размаха = 1,10			Треугольный генератор			Тплан= 46		ΔТслч= 1,39		
AI	5,2	0,0	AII	7,2	0,0	AIII	3,2	0,0	AIV	3,2
0,0		5,2	5,2		12,4	12,4		15,6	15,6	18,8
BI	4,2	2,9	BII	6,4	0,0	BIII	2,1	0,0	BIV	6,1
5,2		9,5	12,4		18,8	18,8		20,9	20,9	27,0
VI	8,2	1,1	BII	7,1	0,0	BIII	5,2	0,0	BIV	7,2
9,5		17,7	18,8		25,9	25,9		31,1	31,1	38,3
ГI	6,1	2,1	ГII	4,0	1,2	ГIII	4,2	3,1	ГIV	5,1
17,7		23,8	25,9		29,9	31,1		35,3	38,3	43,4
ДИ	5,1	1,1	ДИI	3,2	2,2	ДИII	6,2	2,0	ДИV	4,0
23,8		28,9	29,9		33,1	35,3		41,4	43,4	47,4
Общ. индекс размаха = 1,15			Треугольный генератор			Тплан= 46		ΔТслч= 1,95		
AI	5,0	0,0	AII	7,6	0,0	AIII	3,0	0,0	AIV	3,2
0,0		5,0	5,0		12,6	12,6		15,6	15,6	18,8
BI	4,1	3,5	BII	6,1	0,0	BIII	2,0	0,0	BIV	6,1
5,0		9,1	12,6		18,7	18,7		20,7	20,7	26,8
VI	8,2	1,3	BII	7,1	0,0	BIII	5,6	0,0	BIV	7,3
9,1		17,4	18,7		25,8	25,8		31,4	31,4	38,7
ГI	6,2	2,3	ГII	4,1	1,5	ГIII	4,4	2,9	ГIV	5,2
17,4		23,5	25,8		29,9	31,4		35,8	38,7	43,9
ДИ	5,2	1,1	ДИI	3,4	2,5	ДИII	6,2	1,9	ДИV	4,0
23,5		28,7	29,9		33,3	35,8		42,0	43,9	47,9
Общ. индекс размаха = 1,20			Треугольный генератор			Тплан= 46		ΔТслч= 3,10		
AI	5,3	0,0	AII	7,4	0,0	AIII	3,1	0,0	AIV	3,2
0,0		5,3	5,3		12,7	12,7		15,8	15,8	19,0
BI	4,4	3,0	BII	6,6	0,0	BIII	2,2	0,0	BIV	6,4
5,3		9,7	12,7		19,3	19,3		21,5	21,5	27,9
VI	8,1	1,4	BII	7,2	0,0	BIII	5,4	0,0	BIV	7,4
9,7		17,8	19,3		26,5	26,5		31,9	31,9	39,2
ГI	6,5	2,1	ГII	4,5	0,9	ГIII	4,4	3,0	ГIV	5,5
17,8		24,4	26,5		30,9	31,9		36,3	39,2	44,7
ДИ	5,1	1,5	ДИI	3,0	2,3	ДИII	6,2	2,3	ДИV	4,4
24,4		29,4	30,9		34,0	36,3		42,4	44,7	49,1

Рисунок 3.13 – Расписание, рассчитанное методом критического пути (треугольный ГСП)

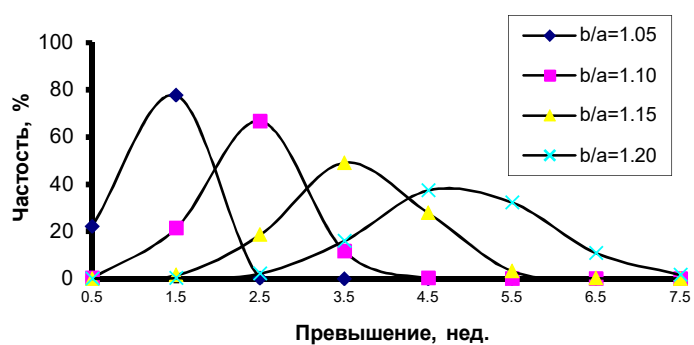
Общ. индекс размаха = 1,00			Равномерный генератор			Тплан= 46		ΔТслч= 0,00		
AI	5,0	0,0	AII	7,0	0,0	AIII	3,0	0,0	AIV	3,0
0,0		5,0	5,0		12,0	12,0		15,0	15,0	18,0
BI	4,0	3,0	BII	6,0	0,0	BIII	2,0	0,0	BIV	6,0
5,0		9,0	12,0		18,0	18,0		20,0	20,0	26,0
VI	8,0	1,0	VII	7,0	0,0	VIII	5,0	0,0	BIV	7,0
9,0		17,0	18,0		25,0	25,0		30,0	30,0	37,0
ГI	6,0	2,0	ГII	4,0	1,0	ГIII	4,0	3,0	ГIV	5,0
17,0		23,0	25,0		29,0	30,0		34,0	37,0	42,0
ДИ	5,0	1,0	ДИI	3,0	2,0	ДИII	6,0	2,0	ДИV	4,0
23,0		28,0	29,0		32,0	34,0		40,0	42,0	46,0
Общ. индекс размаха = 1,05			Равномерный генератор			Тплан= 46		ΔТслч= 0,93		
AI	5,2	0,0	AII	7,1	0,0	AIII	3,1	0,0	AIV	3,0
0,0		5,2	5,2		12,3	12,3		15,4	15,4	18,4
BI	4,2	2,9	BII	6,1	0,0	BIII	2,1	0,0	BIV	6,3
5,2		9,4	12,3		18,4	18,4		20,5	20,5	26,8
VI	8,3	0,8	VII	7,3	0,0	VIII	5,1	0,0	BIV	7,0
9,4		17,6	18,4		25,7	25,7		30,8	30,8	37,8
ГI	6,2	1,9	ГII	4,1	1,0	ГIII	4,1	2,9	ГIV	5,0
17,6		23,8	25,7		29,8	30,8		35,0	37,8	42,9
ДИ	5,2	0,8	ДИI	3,1	2,0	ДИII	6,1	1,9	ДИV	4,1
23,8		29,1	29,8		32,9	35,0		41,0	42,9	46,9
Общ. индекс размаха = 1,10			Равномерный генератор			Тплан= 46		ΔТслч= 2,24		
AI	5,2	0,0	AII	7,4	0,0	AIII	3,1	0,0	AIV	3,2
0,0		5,2	5,2		12,5	12,5		15,7	15,7	18,8
BI	4,3	3,0	BII	6,1	0,0	BIII	2,0	0,0	BIV	6,5
5,2		9,5	12,5		18,7	18,7		20,7	20,7	27,2
VI	8,4	0,7	VII	7,3	0,0	VIII	5,3	0,0	BIV	7,3
9,5		17,9	18,7		26,0	26,0		31,3	31,3	38,6
ГI	6,0	2,1	ГII	4,3	1,0	ГIII	4,3	3,0	ГIV	5,4
17,9		23,9	26,0		30,3	31,3		35,6	38,6	44,0
ДИ	5,0	1,4	ДИI	3,2	2,1	ДИII	6,3	2,1	ДИV	4,2
23,9		29,0	30,3		33,5	35,6		42,0	44,0	48,2
Общ. индекс размаха = 1,15			Равномерный генератор			Тплан= 46		ΔТслч= 3,37		
AI	5,3	0,0	AII	7,5	0,0	AIII	3,4	0,0	AIV	3,3
0,0		5,3	5,3		12,7	12,7		16,1	16,1	19,4
BI	4,2	3,2	BII	6,9	0,0	BIII	2,1	0,0	BIV	6,3
5,3		9,5	12,7		19,6	19,6		21,7	21,7	27,9
VI	8,4	1,7	VII	8,0	0,0	VIII	5,1	0,0	BIV	7,2
9,5		17,9	19,6		27,6	27,6		32,7	32,7	39,9
ГI	6,3	3,4	ГII	4,2	0,9	ГIII	4,4	2,7	ГIV	5,2
17,9		24,2	27,6		31,8	32,7		37,1	39,9	45,1
ДИ	5,4	2,2	ДИI	3,2	2,1	ДИII	6,7	1,3	ДИV	4,2
24,2		29,6	31,8		35,0	37,1		43,8	45,1	49,4
Общ. индекс размаха = 1,20			Равномерный генератор			Тплан= 46		ΔТслч= 5,73		
AI	6,0	0,0	AII	8,4	0,0	AIII	3,3	0,0	AIV	3,4
0,0		6,0	6,0		14,4	14,4		17,6	17,6	21,1
BI	4,1	4,3	BII	6,8	0,0	BIII	2,3	0,0	BIV	6,8
6,0		10,1	14,4		21,2	21,2		23,5	23,5	30,3
VI	8,7	2,5	VII	7,2	0,0	VIII	5,2	0,0	BIV	7,9
10,1		18,7	21,2		28,4	28,4		33,6	33,6	41,5
ГI	7,2	2,5	ГII	4,7	0,5	ГIII	4,8	3,1	ГIV	5,8
18,7		25,9	28,4		33,1	33,6		38,4	41,5	47,3
ДИ	5,4	1,8	ДИI	3,1	2,1	ДИII	6,3	2,6	ДИV	4,5
25,9		31,3	33,1		36,3	38,4		44,7	47,3	51,7

Рисунок 3.14 – Расписание, рассчитанное методом критического пути (равномерный ГСП)

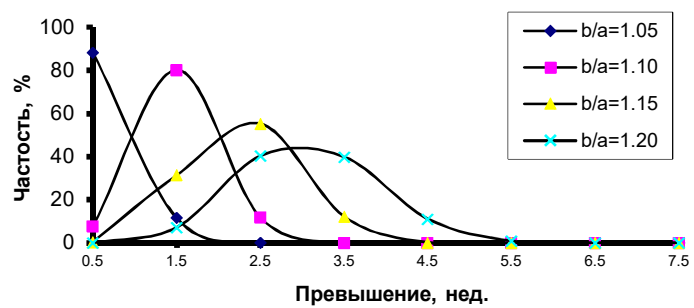
НОФ треугольное распределение



НОФ равномерное распределение



МКП треугольное распределение



МКП равномерное распределение

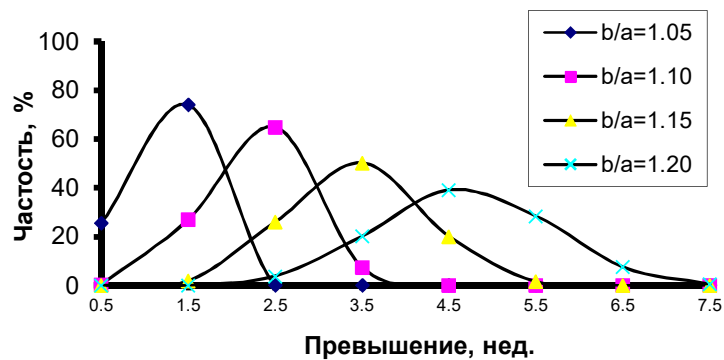


Рисунок 3.15 – Итоговые функции распределения статистического эксперимента

Например, как показано на рисунке 3.15 для треугольного распределения и малых индексов размаха, итоговое распределение в определенной степени повторяет монотонно убывающую функцию, но с ростом индекса размаха это подобие нарушается. В общем случае проведенный нами статистический эксперимент, итоговые характеристики которого представлены в таблице 3.3, подтверждает определенную уникальность целевых статистических характеристик, полученных в результате применения различных ГСП.

Таблица 3.3

Результаты статистического эксперимента

Статистика	Математическое ожидание					Стандартное отклонение				
	0	1,05	1,1	1,15	1,2	0	1,05	1,1	1,15	1,2
Индекс размаха	0	1,05	1,1	1,15	1,2	0	1,05	1,1	1,15	1,2
НОФтреуг	0	0,66	1,60	2,42	3,23	0	0,38	0,48	0,67	0,86
НОФравн	0	1,28	2,40	3,63	4,88	0	0,43	0,58	0,80	1,00
МКПтреуг	0	0,62	1,55	2,31	3,08	0	0,37	0,47	0,67	0,83
МКПравн	0	1,26	2,30	3,44	4,67	0	0,50	0,59	0,78	0,99
Отношения для НОФ треуг/равн	1	0,518	0,667	0,667	0,662	1	0,884	0,822	0,841	0,853
Отношения для МКП треуг/равн	1	0,497	0,673	0,671	0,660	1	0,744	0,788	0,857	0,846

Как видно из таблицы 3.3, отношения математических ожиданий и стандартных отклонений для двух представленных ГСП зависит от индекса размаха, который является задаваемой характеристикой. Такой разброс отношений имеет место при рассмотрении других сравниваемых пар ГСП. Можно предположить, что относительно друг друга все представленные монотонно убывающие распределения являются относительно «равноправными» и поэтому для получения итогового результата требуется введение некоторого усредненного генератора. Все представленные монотонно убывающие ГСП имеют одинаковую значимость, поэтому соответствующая этому распределению случайная продолжительность работы будет определяться на основе единичного равномерного генератора случайных чисел – *Rnd* по формуле

$$t = a \left[1 + \frac{1}{3} \left(\frac{b}{a} - 1 \right) \left(Rnd - \frac{1}{4} \ln(Rnd) + (1 - \sqrt{Rnd}) \right) \right]. \quad (3.32)$$

На рисунке 3.16 показан пример графического отображения результатов усреднения для обобщающего ГСП. Для изображенных здесь распределений даны более соответствующие названия. Поскольку равномерное распределение дает наибольшую среднюю продолжительность, то оно представлено в качестве пессимистического распределения. Наименьшую среднюю продолжительность дает экспоненциальное распределение и поэтому оно представлено в качестве оптимистического распределения.

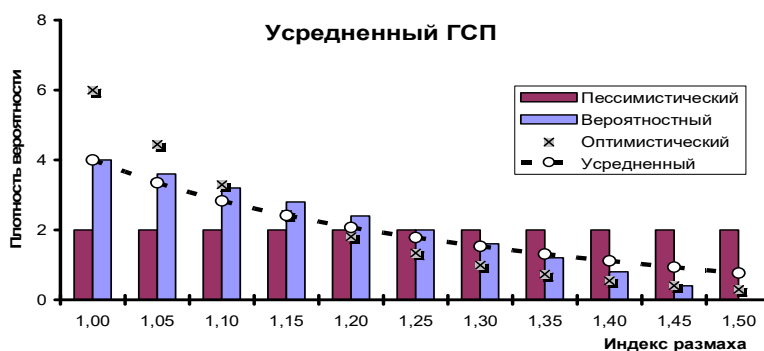


Рисунок 3.16 Графическое представление усредненного ГСП

Наиболее вероятные продолжительности дает треугольное распределение, которое в наибольшей степени соответствует усредненному ГСП. Таким образом, нами сделано классификационное обобщение от ранее представимых параметров случайных продолжительностей (пессимистической, оптимистической и наиболее вероятной) в сторону соответствующих распределений случайных продолжительностей (пессимистическому, оптимистическому и наиболее вероятному).

Выводы по 3 главе

1. Установлена неустойчивость структуры строительного потока и невозможность планируемого отображения всех возможных вариантов топологии строительства с помощью метода построения альтернативных сетей.
2. Определено, что наиболее применимым в практике вероятностного календарного планирования является использование бета распределения, которое только в ограниченной форме может учитывать качество управления, а для его более совершенного учета предложено использовать экспоненциальное, треугольное и равномерное распределения случайных продолжительностей работ.
3. С целью совершенствования использования метода критической цепи, даны конструктивные рекомендации, заключающиеся в количественной дифференциации рекомендаций по определению форсированных продолжительностей работ, зависящих от предполагаемого качества управления работами.
4. Разработаны теоретические основы метода пространственно-временной аналогии, позволяющего на основе нормы дисконта, используемой в расчетах экономической эффективности, определить горизонт планирования и пессимистические продолжительности расписания строительных работ.

4 глава. Методы прогнозирования продолжительности выполнения отдельных работ и строительства в целом

4.1 Регрессионный анализ

4.1.1 Прикладная задача прогноза на основе регрессионного анализа. В монографии [96] автор рассматривает различные методы прогноза продолжительности строительства, в частности, особый метод регрессионного анализа и метод, основанный на анализе временных рядов. Последний метод называют моделью или методологией Бокса — Дженкинса, или ее название употребляется под аббревиатурой ARIMA (англ. *autoregressive integrated moving average*) [97]. На основе регрессионного анализа временных рядов достаточно хорошо предсказываются различные финансово-экономические показатели [98, 99].

Но, с точки зрения предсказания продолжительности строительства для применения этого метода имеются существенные ограничения. Во-первых, должна иметь место репрезентативная статистика, определяющая соответствующий временной ряд. Однако на начальном этапе строительства прогноз может строиться только на выполнении подготовительных и фундаментных работ. А на конечном этапе строительства прогноз может строиться на выполнении всех работ и он, по сути дела, направлен на прогноз выполнения только последней работы. Во-вторых, члены временного ряда должны быть однородны по происхождению. В строительстве же работы представляют неоднородное множество, как по их технологии, так и по составу исполнителей. Поэтому данный метод может быть использован только для повторяющихся работ или объектов, классифицированных как долговременный строительный поток.

Ранее нами было отмечено, что при вероятностном календарном планировании наиболее универсальным является метод статистических испытаний. Данный метод может быть использован либо непосредственно для получения прогноза общей продолжительности, либо в совокупности с другими методами, как это будет показано в представленном далее методе нелинейной экстраполяции, в котором получаемый результат зависит от интегрального определения всего объема выполненных работ.

В общем случае результаты статистического эксперимента позволяют связать прогноз общей продолжительности строительства с несвоевременностью выполнения отдельных работ, и тогда обработка результатов статистического эксперимента может осуществляться с помощью аппарата множественного регрессионного анализа. Таким образом, на первый взгляд, кажется, что при сочетании метода статистических испытаний и множественного регрессионного анализа возникает явное преимущество перед интегральными методами прогноза окончания строительства. Однако, при детальном рассмотрении, применение предлагаемого сочетания может быть ограничено наличием нелинейной связи между общей продолжительностью строительства и продолжительностями выполнения отдельных работ, а также влиянием динамического изменения структуры работ, которые определяют состав переменных.

Известно, что изначально метод множественного регрессионного анализа был ориентирован на описание линейных моделей. Если же модель является нелинейной, то для нее априори (заранее) должна быть известна соответствующая нелинейная форма и тогда данная модель может быть искусственно приведена к линейной форме, либо для нее должен быть разработан специфический алгоритм нелинейной регрессии, который в работе [96] связан с отдельным методом прогноза. В любом случае для решения нелинейных задач требуется предварительная информация о форме нелинейной связи искомой функции и входящих в нее аргументов [100]. Календарное планирование, в силу его достаточно большого разнообразия, такой информацией априори не располагает.

4.1.2 Проблема нелинейности расписаний работ. Рассмотрим вопрос, связанный с линейным характером зависимости окончания строительства от вектора продолжительностей работ, и продемонстрируем это на следующем численном примере.

На рисунке 4.1 показана сетевая модель выполнения 2-х видов работ на 2-х строительных объектах.

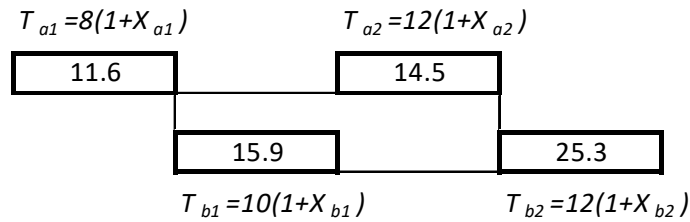


Рисунок 4.1 Сетевая модель календарного плана работ

Представленные данные детерминированных продолжительностей работ численно соответствуют нормативным продолжительностям, определенным для жилых зданий [14]. Буквенные индексы (*a* и *b*) обозначают работы нулевого цикла и надземной части соответственно, а цифровые индексы обозначают 1-й и 2-й объекты. Единицами продолжительностей работ являются недели, а случайные продолжительности работ моделируются равномерно распределенными случайными числами в диапазоне от 0 до 1, обозначенными буквами *X*. Над прямоугольниками, обозначающими выполняемые работы, показаны формулы расчета случайных продолжительностей работ. Между показанными работами действуют конечно-начальные связи, направленные слева направо и сверху вниз. Для представленного примера, общая продолжительность строительства будет определяться по следующей формуле:

$$T=8(1+X_{a1})+Max[12(1+X_{a2});10(1+X_{b1})]+12(1+X_{b2}). \quad (4.1)$$

По формуле (4.1) рассчитано множество экспериментальных данных, а их статистическая обработка позволила представить продолжительность строительства в виде следующей регрессионной формулы.

$$T=1.1T_{a1}+0.83T_{a2}+0.26T_{b1}+1.0T_{b2}-0.69. \quad (4.2)$$

Коэффициент корреляции при обработке этих данных составил 0.97. Рассмотрим аналогичные результаты, учитывающие эффект нелинейности. Для этого ранее полученное множество вариантов разбито на 2 подмножества. Первое подмножество включает варианты, в которых $T_{a2}>T_{b1}$. Аналогичная статистическая обработка этих результатов позволила представить продолжительность строительства в виде формулы (4.3) с коэффициентом корреляции равным 1.

$$T=1.0T_{a1}+1.0T_{a2}+1.0T_{b2}. \quad (4.3)$$

Второе подмножество включило все варианты, в которых $T_{a2}\leq T_{b1}$. Аналогичная статистическая обработка этих результатов позволила представить продолжительность строительства в виде формулы (4.4) с коэффициентом корреляции 1.

$$T=1.0T_{a1}+1.0T_{b1}+1.0T_{b2}. \quad (4.4)$$

Таким образом, в представленном эксперименте исходная нелинейность была промоделирована кусочно-линейными функциями, которые достаточно просто получить из простых данных демонстрационного примера. Однако для более сложных сетевых топологий кусочно-линейную аппроксимацию провести практически невозможно. Более того в процессе календарного планирования строительства исходные данные могут постоянно корректироваться, что будет увеличивать нелинейность. К этому также следует добавить то, что и топология сети также может изменяться и это изменение только усилит влияние нелинейного эффекта в эмпирической зависимости общей продолжительности строительства от продолжительностей выполнения отдельных работ.

Предсказательная эффективность аппарата множественной регрессии заключается в том, что регрессионное уравнение является актуальным только в том случае, если оно переносится на аналогичный объект и к тому же функционирующий в аналогичных условиях.

Для календарного графика строительства характерной является ситуация, когда на какую-то дату часть работ уже выполнена, а часть работ еще не начата. Для выполненных работ индекс выполнения будет равен 1 (100%), а для невыполненных он будет равен 0 (0%). Учет фактических индексов приведет к тому, что соответствующие регрессионные коэффициенты будут иметь нулевые значения. Отсюда возникают следующие противоречия. Выполненные работы уже внесли свой вклад в несвоевременность, но этот вклад, согласно уравнению регрессии, будет перераспределен между невыполненными работами. А вклад еще не начатых работ вообще не будет учитываться на заданную дату.

Таким образом, чисто формальное применение сочетания метода статистических испытаний и множественного регрессионного анализа позволяет получить искомый прогноз продолжительности, но погрешности такого прогноза будут крайне неопределенными.

4.2 Искусственные нейронные сети

4.2.1 Прикладная задача прогноза на основе нейросетевого моделирования. Рассмотрим другую возможность эффективного решения задачи предсказания окончания строительства на основании аппарата нейросетевого моделирования, позволяющего на основе проведения обучающей процедуры сформировать нелинейную предсказательную модель. Практика использования искусственных нейронных сетей (НС) показала их эффективное применение в следующих ситуациях.

1. НС представляет гибкую модель аппроксимации многомерных функций.
2. НС является средством распознавания образов.
3. НС является средством прогнозирования во времени процессов, зависящих от большого количества переменных.

Покажем использование выше перечисленных возможностей применительно к организации строительства, общие вопросы применения нейронных сетей в управлении строительством изложены в работе [101]. Например, первая возможность может послужить моделью для совершенствования обоснования распределения штрафов за несвоевременное окончание строительства, одно из решений которой было предложено в работе [100]. Вторая возможность связана с распознавание образов и использована для определения принадлежности зданий к определенной группе капитального ремонта [102]. Третья возможность как раз и как раз и служит фундаментом для решения задачи прогнозирования окончания строительства.

В своей основе нейронные сети базируются на образе формального нейрона [103], схема которого показана на рисунке 4.2.

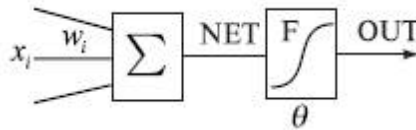


Рисунок 4.2. Формальный нейрон.

На входы формального нейрона, которые носят название дендриты, подаются сигналы x_i , которые в биологической нейронной сети поступают от смежных аксонов (выходов смежных нейронов). Места контактов между смежными аксонами и дендритами, ведущими к клеточному сумматору, в биологической нейронной сети называются синапсами. Функция синапсов заключается в формировании веса w_i для каждого входного сигнала. Следующим по схеме идет клеточный сумматор NET , который интегрирует взвешенные сигналы по следующей формуле:

$$NET = \sum w_i x_i. \quad (4.5)$$

За сумматором следует нелинейный элемент, который определяет нелинейную функцию преобразования сигнала $Y(NET)$. Наиболее часто в модели формального нейрона применяется сигмоид (функция Ферми), имеющий вид:

$$Y = \frac{1}{1 + \exp(-NET)}. \quad (4.6)$$

В показанной ниже демонстрационной модели на 4 входа формального нейрона будут подаваться 4 значения индексов несвоевременного выполнения работ, измеренные на определенную дату, и определенные буквами x_i . Веса этих входов, обозначенные как w_i , первоначально определяются как случайные числа, равномерно распределенные в диапазоне от -0,5 до +0,5. Выход системы связан с входными характеристиками формулой (4.6). В результате принятой модели, функциональная связь между выходом и входами будет иметь следующее нелинейное представление:

$$Y = \frac{1}{1 + \exp(-w_1 x_1 - w_2 x_2 - w_3 x_3 - w_4 x_4)}. \quad (4.7)$$

Решение задачи по поиску множества весов w_i происходит в режиме обучения на априори установленном объеме выборки значений, определяющих запаздывания окончания строительства.

Итерационная процедура с использованием статистического образа начинается с определения ошибки выхода. Полученная ошибка служит основой для корректировки весов, которая производится по алгоритму обратного распределения ошибки. Следует отметить, что в работе [96] автор рассмотрел влияние различных функций на искомый результат прогноза. При этом оказалось, что они практически равноценны по критерию отклонения прогноза от принятой образцовой кривой.

4.2.2 Особенности нейросетевой модели прогноза продолжительности строительства и отдельных работ. Для примера рассмотрим формирование обучающего массива данных на практическом примере календарного плана строительства 4-х жилых зданий, представленного на рисунке 4.3. Техничко-экономические показатели, связанные с характеристиками детерминированных продолжительностей выполнения работ, взяты из соответствующих рекомендуемых нормативов [14].

Каждая работа сетевого календарного графика представлена в виде прямоугольника, верхняя часть которого связана с детерминированными характеристиками, а нижняя часть отображает стохастические характеристики. В левых частях прямоугольник показаны сроки начала работ, в средних частях – продолжительности работ, а в правых частях – окончания работ. Все временные параметры определены в неделях. Между работами установлены связи, а расчет временных характеристик представленной модели осуществляется по методу критического пути. В качестве безразмерной величины, определяющей фактическое выполнение работы, использовано индексное представление, показывающее отношение актуального выполнения работы к планируемому выполнению на соответствующую дату. В результате индекс выполнения работы изменяется от 0 до 1, для выполненных работ индекс будет равен 1, а для не начатых работ он будет нулевым.

На рисунке 4.3 показано, что по окончании 100-й недели строительства все работы на 1-м объекте должны быть полностью выполнены, что и подтверждает измеренный факт, в итоге индекс несвоевременности равен 1. На 2-м объекте по окончании 100-й недели строительства по плану должно быть выполнено 100% объема, а фактически выполнено работ только на 58%, следовательно, индекс несвоевременности равен 0,58. На 3-м объекте по окончании 100-й недели строительства по плану должно быть выполнено 56% объема, а фактически выполнено только на 27%, следовательно, индекс несвоевременности равен 0,58. На 4-м объекте по плану работы не начаты, поэтому соответствующий индекс принят равным нулю. Представленной на рисунке 4.3 случайной реализации календарного плана строительства соответствует продолжительность 194 недели, при детерминированном плане 145 недель, следовательно, прогноз абсолютного запаздывания строительства равен 49 недель.

Подставляя в формулу (4.7) веса, оптимизированные по методу наименьших квадратов, получаем искомое выражение для расчета прогнозируемого окончания строительства по результатам фактического измерения объемов работ, выполненных на 100-ю неделю с момента начала строительства

$$T^f(100) = 145 + T^{\min} + \frac{T^{\max} - T^{\min}}{1 + \text{Exp}(-0,366x_1 + 1,01x_2 + 0,23x_3 - 0,086x_4)}, \quad (4.8)$$

где $T^{\min}$ и $T^{\max}$ – определены статистикой обучающей выборки как 19,1 и 62,5 недель соответственно.

Таким образом, если по окончании 100-й недели измеренные значения $z_1=1$; $z_2=0,62$; $z_3=0,44$; $z_4=0$, то прогнозируемая продолжительность T^f будет равна 187 неделям и задержка окончания строительства будет равна 42 неделям.

Отметим следующее обстоятельство: значимость индекса выполнения работы тем выше, чем ниже (с учетом знака) значение рассчитанного веса. Для представленного примера можно ранжировать значимости работ следующим образом: наиболее существенным является 2-й объект, далее идет 3-й объект, за ним 1-й объект, а наименее значимыми для прогноза являются работы на 4-м объекте. При этом значимости работ на объектах будут меняться по ходу строительства.

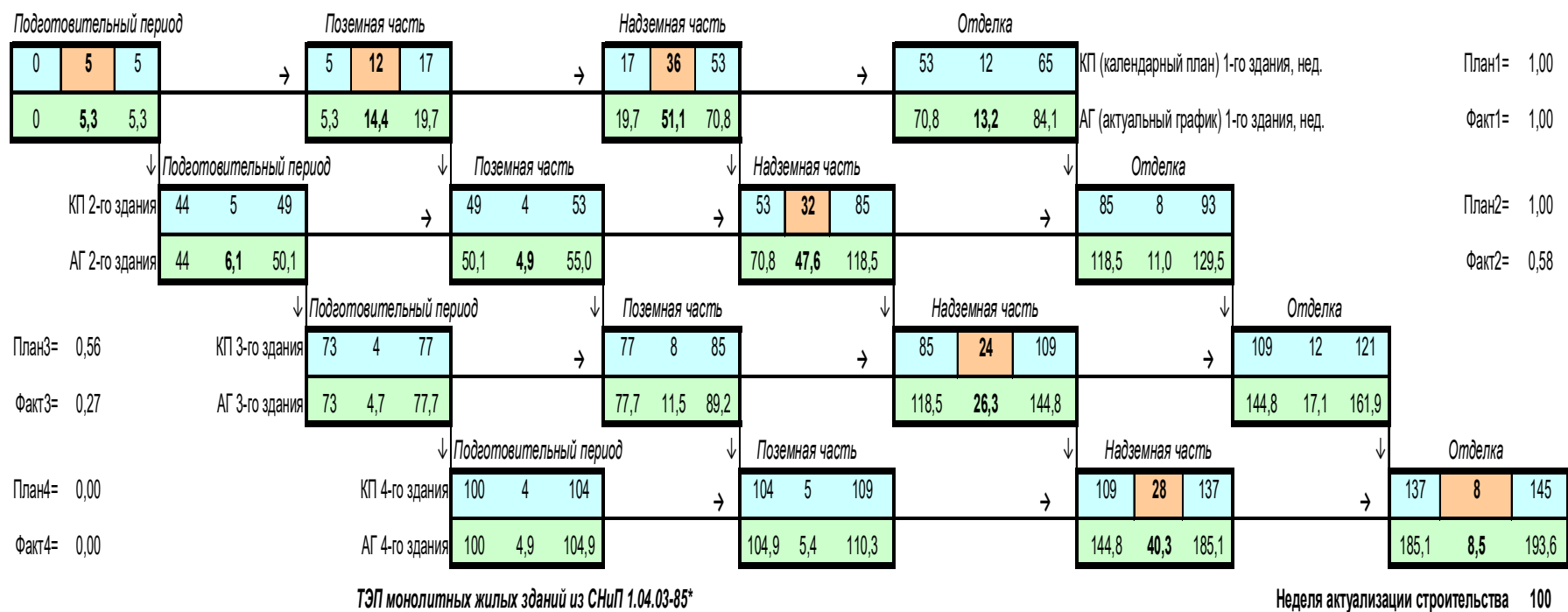


Рисунок 4.3. Календарный план поточного строительства 4-х жилых зданий

Обратим внимание, что в результате экспериментального исследования по адаптации формального нейрона выявлено, что динамический диапазон результатов расчета меньше соответствующего диапазона обучающей выборки. Это связано с тем, что нелинейность результата обеспечивает только одна выходная функция (сигмоид). Поэтому для дальнейшего более эффективного применения данного метода целесообразно определить такой важный параметр как многослойность нейронной сети, так как в этом случае общая нелинейность модели будет обеспечена суперпозицией сигмоидов. Численный эксперимент показал, что для эффективного решения поставленной задачи достаточно ограничиться однослойным персептроном. Дальнейшее увеличение числа слоев вносит несущественные коррективы в искомый прогноз продолжительности строительства.

В качестве вывода можно резюмировать, что описанный алгоритм прогноза окончания строительства обладает достаточной универсальностью для решения задачи по данным оперативного учета хода строительства, однако его погрешность также трудно интерпретировать, как и в случае применения метода множественного регрессионного анализа.

4.2.3 Экспериментальное сравнение нейросетевой и регрессионной моделей. Целью сравнения двух выше рассмотренных методов прогноза окончания строительства является аргументированный выбор одного из них. Проведем данное сравнение на основе экспериментальных данных, полученных при решении конкретной практической задачи. При этом будем считать очевидным тот факт, что для корректного сравнения необходимо, чтобы исходные данные были бы одинаковыми для сравниваемых методов. В качестве компьютерного инструментария, с помощью которого реализована методика сравнения, использована программа Excel.

Демонстрация экспериментальных результатов осуществляется на примере строительного потока, представленного ранее на рисунке 4.3. Статистическое моделирование случайных календарных планов осуществляется по ранее описанной методике. С целью наглядной визуализации, выбранная обучающая выборка ограничена 30-ю вариантами случайных календарных планов. Та же самая обучающая выборка используется и как статистический массив, необходимый для формирования регрессионного уравнения, которое рассчитывается в программе Excel с помощью стандартных формул множественного регрессионного анализа, реализованного на основе линейной модели.

Таблица 4.1

Сравнение результатов прогноза окончания строительства									
	Vx. 1	Vx. 2	Vx. 3	Vx. 4	ΔT	Y	$\Delta T - Y$	R	$\Delta T - R$
1	1,00	0,73	0,46	0,00	27,73	28,4	-0,7	28,6	-0,9
2	1,00	0,72	0,47	0,00	25,70	28,7	-3,0	28,9	-3,2
3	1,00	0,86	0,60	0,00	12,98	18,6	-5,6	17,5	-4,5
4	1,00	0,82	0,44	0,00	21,48	23,5	-2,0	24,0	-2,5
5	1,00	0,88	0,54	0,00	19,06	18,9	0,2	17,5	1,5
6	1,00	0,80	0,52	0,00	21,10	22,0	-0,9	22,9	-1,8
7	1,00	0,63	0,52	0,00	31,89	32,4	-0,5	32,6	-0,7
8	1,00	0,72	0,48	0,00	35,63	27,7	7,9	28,2	7,4
9	1,00	0,58	0,47	0,00	36,92	35,7	1,2	36,2	0,7
10	1,00	0,74	0,47	0,00	30,08	26,6	3,5	27,2	2,9
11	1,00	0,93	0,67	0,00	17,42	16,9	0,5	11,8	5,6
12	1,00	0,76	0,45	0,00	22,30	26,6	-4,3	27,0	-4,7
13	1,00	0,75	0,46	0,00	28,39	26,5	1,9	27,1	1,3
14	1,00	0,85	0,51	0,00	20,67	20,4	0,2	20,4	0,2
15	1,00	0,71	0,48	0,00	34,69	28,1	6,6	28,6	6,1
16	1,00	0,70	0,56	0,00	25,16	25,7	-0,5	27,3	-2,2
17	1,00	0,81	0,46	0,00	27,23	23,3	3,9	23,9	3,3
18	1,00	0,84	0,45	0,00	19,02	22,3	-3,3	22,5	-3,5
19	1,00	0,67	0,49	0,00	28,14	30,8	-2,6	30,9	-2,7

20	1,00	0,81	0,54	0,00	19,36	20,9	-1,5	21,6	-2,3
21	1,00	0,67	0,48	0,00	28,89	31,4	-2,5	31,3	-2,4
22	1,00	0,88	0,56	0,00	15,52	18,8	-3,3	17,6	-2,0
23	1,00	0,68	0,46	0,00	29,48	31,7	-2,2	31,4	-1,9
24	1,00	0,89	0,58	0,00	13,18	18,3	-5,2	16,5	-3,4
25	1,00	0,75	0,45	0,00	27,81	27,0	0,8	27,3	0,5
26	1,00	0,66	0,45	0,00	38,00	33,0	5,0	32,6	5,4
27	1,00	0,81	0,39	0,00	26,51	25,9	0,6	25,8	0,7
28	1,00	0,89	0,52	0,00	22,29	19,1	3,2	17,7	4,5
29	1,00	0,62	0,39	0,00	36,01	36,1	-0,1	36,2	-0,2
30	1,00	0,79	0,48	0,00	23,55	23,9	-0,3	24,7	-1,1
Обучающая выборка					25,5	25,6	12,5	25,5	12,7

Представленные в таблице 4.1 результаты показывают, что среднее значение задержки строительства, полученное на основе статистического эксперимента равно 25,5 недель, прогноз задержки, полученный на основе неросетевого моделирования равен 25,6 недель, а полученный на основе регрессионного анализа равен 25,5 недель. При этом средние квадратичные отклонения равны 12,5 и 12,7 недель соответственно. Таким образом, можно сделать вывод о том, что сравниваемые методы приблизительно эквивалентны по своим предсказательным возможностям. Сравнивая данные проведенного эксперимента с аналогичными данными, взятыми из монографии [96] можно отметить их достаточно высокое сходство.

4.3 Энтропийный подход в расчете прогноза строительства

4.3.1 Энтропийная оценка расхождения планируемого и фактического расписаний работ.

В прикладных исследованиях можно выделить научные подходы, основанные на сведении различных частных сущностей к некоторым обобщающим характеристикам, одной из которых является энтропия. Применение подобного рода подходов, как правило, базируется на использовании метода аналогии. Однако следует иметь в виду, что использование метода аналогии не является доказательством в прямом смысле этого слова. В нашем случае определенное право на применение этого метода дает такая характеристика строительства, как его сложность. В этом случае обязательным условием применения метода аналогии должны стать все необходимые обоснования характеристик рассматриваемого прикладного объекта, который определен как график строительства.

В монографии [104] дано общее определение энтропии: «Энтропия – это фундаментальное свойство произвольной системы, состоящей из многих элементов, для которых характерна неоднозначность и/или случайность поведения. При этом энтропия представляет собой меру хаоса, т.е. степень беспорядка системы и ее поведения». Из данного определения авторы монографии [104] делают два вывода: «Чем меньшим значением обладает энтропия системы, тем большей стабильностью характеризуется деятельность этой системы. И, наоборот, чем большим значением обладает энтропия системы, тем более хаотичным является функционирование такой системы».

Считается, что энтропийный подход относится к междисциплинарному направлению науки, объектами которой являются общие закономерности явлений и процессов, протекающих в сложных неравновесных системах на основах присущих им принципов самоорганизации. Для описания самоорганизующихся систем используется термин аттрактор, которому в работе [105] дается следующее определение: «Аттрактором называется множество точек в фазовом пространстве динамической системы, к которым стремятся траектории системы. Если траектория подошла достаточно близко к аттрактору, то со временем она уже не покинет окрестность аттрактора и даже будет подходить к нему всё ближе и ближе, то есть будет наблюдаться эффект притяжения к аттрактору».

Процесс строительства вполне соответствует понятию динамической системы, а развитие строительства во времени описывается предсказательной моделью, определяемой как календарный план строительства. Если обеспечить рациональную реализацию календарного плана строительства, то его окончание можно определить, как достигнутую точку фазового пространства, которая будет

соответствовать точечному аттрактору. При этом практика строительства показывает, что справедлива и вторая часть определения, утверждающая, что при приближении к окончанию строительства эффект притяжения к аттрактору, то есть к завершению строительства, будет возрастать.

В общем случае, достижение планируемого состояния, определяемого аттрактором, происходит по некоторой траектории. Важной характеристикой успешности организации строительства является время, затраченное при движении системы по той или иной траектории. Наиболее общей и наиболее используемой моделью расписания строительных работ является сетевой график, в котором в качестве траектории строительства может быть использован любой путь, связывающий его начало и окончание. Известно, что календарный график, отображающий строительный процесс, может выступать в двух разных формах. Например, календарный график может являться планируемой моделью строительства, а может быть и актуализированной формой расписания работ, которая формируется после завершения работ по строительству объекта.

Переход от календарного плана строительства к его актуализированному графику можно характеризовать как информационно сложный процесс, так как в его реализации принимает участие большое число структурных элементов, функционирующих в условиях многочисленных рисков. В работе [106] функционирование сложных систем предложено рассматривать на основе связи между априорной и апостериорной информацией. В этой работе показана «каноническая» форма управления практической деятельностью сложной системы и даны условия ее управления (У), необходимые для достижения некоторой цели (Ц), что записывается в виде $\langle У; Ц \rangle$. Далее в работе [106] приведены особые ситуации. Если известны только условия, но неизвестна цель, то это соответствует высказыванию $\langle У; - \rangle$, определяющему неполноту задачи, называемую ситуацией. В противоположном случае также возникает неполная задача, называемая проблемой $\langle -; Ц \rangle$. Любое решение перечисленных выше задач, применительно к организации строительства, как минимум увеличивает энтропию, а как максимум способствует возникновению определенного хаоса. В результате разность между априорной неосведомленностью о состоянии системы и апостериорной неопределенностью нового состояния системы будет соответствовать введению в систему либо положительной управленческой информации, либо информации увеличивающую первоначальную энтропию, что, по сути дела, будет соответствовать оценке качества управления.

Экстраполируя, описанный выше подход на область планирования расписаний строительных процессов, следует признать, что любая модель календарного плана строительства также обладает априорной неопределенностью, которую даже теоретически невозможно полностью устранить. Действительно, если рассмотреть формирование календарных планов в практической плоскости, то можно выделить следующие ситуации. Во-первых, календарные планы во многом упрощают будущую действительность и, следовательно, являются источником априорной неопределенности. Но, с другой стороны, календарные планы разрабатываются как документы, адекватно отображающие будущую действительность. Например, для достаточно сложных строительных объектов, календарные планы разрабатываются в составе проектной документации и проходят проектную экспертизу [107, 108, 109]. Применение этих процедур обеспечивает гарантию качества и, следовательно, предполагает минимизацию априорной неопределенности. В дальнейшем на основе календарных планов, представленных в проекте организации строительства, генеральной подрядной организацией разрабатываются календарные графики строительства в составе проектов производства работ [6]. При этом очевидно, что генеральная подрядная организация через разработанный ей календарный график также стремится обеспечить выполнение всех договорных обязательств по строительству объекта. Таким образом, и данное обстоятельство гарантирует качество календарного плана, которое может быть охарактеризовано минимальной априорной энтропией.

В работе [104] приводится известный закон не убывания энтропии, который трактуется как второе начало термодинамики. Увеличение энтропии является свойством необратимости любых процессов макроскопического мира и, следовательно, распространяется и на строительство. В этой связи можно положить, что итоговый актуальный календарный график является источником оценки апостериорной энтропии, связанной с уже осуществленным строительным процессом. На практике последовательная актуализация календарного графика осуществляется после фактического выполнения работ и документально фиксируется формами типа КС-2 [52]. Если работы завершены и приняты в установленном порядке, то можно утверждать, что процесс выполнения строительных работ необратим и в этом случае апостериорная энтропия как раз и является мерой необратимости строительного процесса.

Энтропийный подход применяется в различных задачах оценки процессов, а в ряде случаев он даже усиливался посредством введения понятия нечеткой энтропии [110]. Так, например, аппарат исчисления нечеткой энтропии используется в качестве критерия отбора инновационных проектов [111]. В этой статье также отмечается, что деятельность региональных властей должна рассматриваться как форма «регулирования» хаоса или беспорядка. Проанализированные в работе [111] положения показывают, что снижение энтропии системы является критерием оценки соответствующего субъекта управления.

В монографии [104] приведены многочисленные подходы к измерению энтропии для различных целей. Поэтому одним из важных вопросов является вопрос выбора той или иной измерительной процедуры для исчисления энтропии. В статье [112] утверждается, что в управлении региональной экономической системы неизбежно приходится считаться с наличием энтропии в виде неупорядоченных, хаотических и шумовых факторов в поведении систем. Далее в статье, в качестве исходной формулы исчисления энтропии, приводится формула Клазиуса, определяющая изменение энтропии термодинамической системы ΔS , в виде отношения изменения количества тепла ΔQ к величине абсолютной температуры T . Этим, чисто термодинамическим характеристикам, авторы сопоставили их экономические аналоги. Например, изменению общего количества тепла ΔQ авторы сопоставили изменение сальдированного финансового результата деятельности региональных субъектов, который характеризует интенсивность их взаимодействия. А температуре в качестве параметра аналога использовано значение региональных инвестиций. В результате формула Клазиуса, применительно к оценке экономики региона, получила следующий вид:

$$\Delta S_{\text{per}} = \Delta \text{Пр} / \text{И} = \Delta R \quad (4.9)$$

где ΔR – изменение показателя рентабельности;

$\Delta \text{Пр}$ – изменение прибыли.

На основе анализа формулы (4.9) получается, что чем выше прирост прибыли региона, тем больше прирост энтропии. И тогда выходит, что прирост прибыли увеличивает степень беспорядка и хаоса региона, что, мягко говоря, не является бесспорным выводом. Таким образом, на наш взгляд, используемая авторами прямая аналогия внутренне противоречива и от данной аналогии следует отказаться.

В 1877 году Людвиг Больцман установил связь энтропии с вероятностью состояния системы, а несколько позже Макс Планк представил эту связь в виде следующей формулы [104]:

$$S = k \times \ln W, \quad (4.10)$$

где S – энтропия термодинамического состояния системы;

k – постоянная Больцмана;

W – статистический вес состояния системы, который равен числу возможных микросостояний, с помощью которых можно составить данное макроскопическое состояние системы.

Для нашего практического приложения полезной характеристикой формул (4.9) и (4.10) является связь энтропии с энергетической характеристикой системы, так как она отражает усилия управляющей подсистемы, направленные на уменьшение возрастания энтропии. И наоборот, если должные усилия отсутствуют, то степень беспорядка при строительстве будут только увеличиваться. Применить формулу (4.10) непосредственно к оценке энтропии исполнительного календарного графика не представляется возможным по причине того, что практически невозможно рассчитать число состояний строительной системы в сложнейшем процессе ее перехода от плана к факту.

Рассмотрим формулу расчета энтропии, предложенную Клодом Шенноном [113], и ставшую в дальнейшем основой количественной теории информации:

$$S(p) = -K \sum_{i=1}^n p_i \log_2 p_i, \quad (4.11)$$

где n – число символов, из которых может быть составлено сообщение;

p_i – вероятности появления каждого символа, которые на практике заменяют на их статистические оценки;

K – константа, являющаяся положительным числом и определяющая выбор удобной единицы измерения.

Считается, что при $K = 1$ результат представляется в форме двоичной информационной энтропии и выражается в битах. Но, при использовании в данном коэффициенте энергетической метрики, рассчитанную энтропию можно представить, как энергетическую оценку процесса. Для наших целей, особой целесообразности в определении точного значения коэффициента K нет, поскольку достаточно считать, что уменьшение энтропии линейно связано с увеличением

управленческой энергии. Поэтому более приоритетным является вопрос об исчислении вероятностей, связанных с переходом планового графика к фактическому.

Очевидно, что вероятности, входящие в формулу (4.11), являются скалярными величинами. А вот расписания отдельных работ, отражающих ход строительства, определяются двумя компонентами из трех временных характеристик работы (началом, продолжительностью и окончанием). На рисунке 4.4 сплошным вектором показано планируемое выполнение работы, определяемое соответствующими началом τ и продолжительностью t .

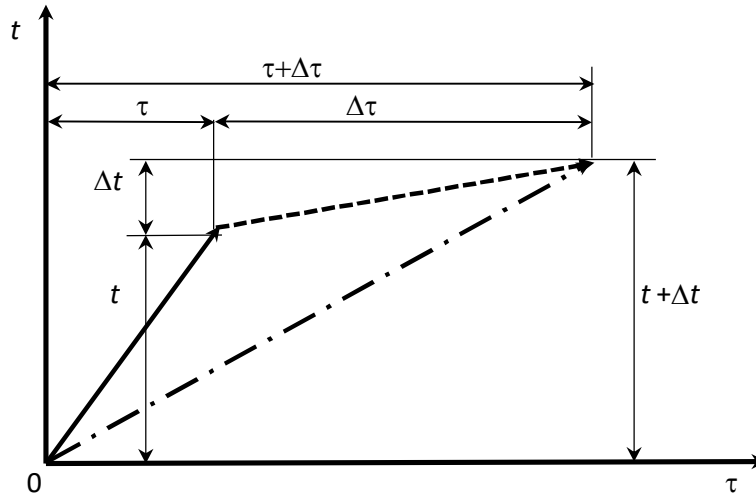


Рисунок 4.4 Векторное представление расписания работы

Считаем, что начало фактически выполненной работы может быть задержано на величину Δt , а продолжительность работы может оказаться больше планируемого значения на величину Δt . Соответствующий вектор фактического выполнения работы изображен на рисунке штрихпунктирной линией, а вектор смещения фактического расписания по отношению к плановому расписанию изображен штриховым вектором. Согласно закону Паркинсона считаем, что вероятность досрочного выполнения работы равна нулю [32]. Из этого следует, что приращение фактической продолжительности работы будет всегда положительным. Аналогичное предположение сделано для приращения фактического начала работы и тогда длина вектора фактического выполнения работы всегда будет не меньше длины соответствующего планового вектора. В программах управления проектами используется понятие «Веха», определяющее работу нулевой продолжительности, которую можно интерпретировать как событие [114]. В нашем представлении изменение длины такого вектора определяется только приращением фактического начала свершения соответствующего события.

В итоге вероятности, входящие в формулу (4.11), можно рассчитывать по следующей формуле

$$p = \sqrt{\frac{t^2 + \tau^2}{(t + \Delta t)^2 + (\tau + \Delta \tau)^2}}. \quad (4.12)$$

Логически формулу (4.12) можно характеризовать следующим определением. Вероятность, определяющая энтропию процесса выполнения работы, показывает отношение длины запланированного вектора работы к соответствующей длине вектора ее фактического выполнения. При этом рассчитываемая вероятность будет монотонно уменьшаться по мере увеличения расхождения между фактическим и планируемым векторами исполнения работы. В формуле Шеннона в качестве весовых множителей использованы значения нормированных вероятностей. Для нашей интегральной оценки их целесообразно заменить на нормируемые продолжительности работ и тогда средняя энтропия исполненного расписания работ может быть определена следующим выражением

$$S = \frac{-\sum_{i=1}^n t_i \log_2 \left(\sqrt{\frac{t_i^2 + \tau_i^2}{(t_i + \Delta t_i)^2 + (\tau_i + \Delta \tau_i)^2}} \right)}{\sum_{i=1}^n t_i}, \quad (4.13)$$

где t_i – плановая продолжительность i -й работы;

Δt_i – фактическое смещение продолжительности i -й работы;

τ_i – плановое начало i -й работы;

$\Delta \tau_i$ – фактическое смещение начала i -й работы;

n – общее число работ календарного плана.

В качестве примера расчета воспользуемся данными по продолжительностям строительных работ, взятым из монографии [115] (table 2, p.21). Планируемое расписание поточной организации строительства показано в таблице 4.2.

Таблица 4.2

Пример планируемого, фактического и пессимистического расписаний работ

Номер объекта	Планируемое расписание поточного строительства объектов											
	Процесс А			Процесс Б			Процесс В			Процесс Г		
1	0	2	2	2	3	5	5	1	6	7	4	11
2	2	5	7	7	2	9	9	4	13	13	1	14
3	7	2	9	9	2	11	13	1	14	14	3	17
4	9	1	10	11	3	14	14	4	18	18	2	20
объекты	Фактическое расписание выполненных работ											
1	0	2,4	2,4	2,4	3,4	5,8	5,8	1,3	7,1	8,3	5,7	14
2	2,4	5,3	7,7	7,7	2,4	10,1	10,1	5,5	15,6	15,6	1,1	16,7
3	7,7	2,8	10,5	10,5	2,5	13	15,6	1,3	16,9	16,9	4,5	21,4
4	10,5	1,3	11,8	13	3,3	16,3	16,9	4,9	21,8	31,8	2,3	24,1
объекты	Расписание работ, рассчитанное по пессимистическим продолжительностям											
1	0	3	3	3	4,5	7,5	7,5	1,5	9	11	6	17,5
2	3	7,5	10,5	11	3	14	14	6	20	20	1,5	21
3	11	3	14	14	3	17	20	1,5	21,5	21,5	4,5	26
4	14	1,5	15,5	17	4,5	21,5	21,5	6	27,5	27,5	2,5	30

Расписание состоит из 4-х процессов, выполняемых на 4-х объектах, представлено в виде матрицы, показанной в верхней части, представленной таблицы. Для каждого процесса, выполняемого на заданном объекте, слева показаны сроки начала выполнения работ, справа соответствующие сроки окончания, а посередине показаны продолжительности работ в условных единицах времени, принятых в работе [115].

Матрица, показанная в нижней части таблицы, отображает пессимистическое расписание работ, методика расчета которого опубликована нами ранее в работе [116]. Матрица, изображенная в средней части таблицы, отображает фактическое расписание работ. Как было обосновано ранее, априорная энтропия планируемого к исполнению расписания равна нулю. Средневзвешенная энтропия пессимистического расписания равна 0.585 бит, а энтропия фактически выполненного расписания работ равна 0.226 бит. По умолчанию считается, что для исполнения запланированной организации строительства требуется соответствующее управление, начальная активность которого может быть принята $A_{plan}=1$. Также принято, что при реализации пессимистического сценария полезная активность управления будет равна нулю ($A_{pess}=0$). В результате имеют место следующие граничные условия: при $S_{plan}=0 \rightarrow A_{plan}=1$, а $S_{pess}=0.585$ бит соответствует $A_{pess}=0$. Рассчитав энтропию фактически выполненного расписания $S_{act}=0.226$ бит, с помощью применения интерполяционного метода, можно рассчитать фактическую активность свершившегося процесса управления строительством по следующей формуле:

$$A_{axt} = 1 - \frac{S_{act}}{S_{pess}} = 1 - \frac{0.226}{0.585} = 0.61 \quad (4.14)$$

В представленном примере получено, что полезная активность управления составила всего лишь 61% и это достаточно низкий показатель. Однако в практическом плане из этого примера следует достаточно важный вывод о необходимости расчета полезной активности управления в

процессе оперативного управления ходом строительства. И тогда по предлагаемому показателю можно принимать соответствующие сложившейся ситуации эффективные организационно-управленческие решения, направленные на своевременное завершение строительства.

4.3.2 Оптимизационное перераспределение управленческих затрат в целях достижения своевременности выполнения работ. В строительном производстве своевременность выполнения работ указывает не только на выполнение договорных обязательств, но и на достижение планируемой производительности труда. Достижение такого результата связывают с рациональной организацией труда. Под производительностью труда обычно понимают способность создавать в единицу времени заданное количество продукции, или же рабочим временем, затраченным на производство единицы продукции. Чем меньше рабочего времени затрачено на изготовление единицы продукции, тем выше соответствующая производительность труда.

В научной и учебной литературе [32, 117, 118] представлено множество дефиниций, определяющих термин труд. Однако, практически во всех них труд определяется через процесс, связанный с целесообразной и сознательной деятельностью людей. Отсюда с необходимостью следует то, что процесс труда связан с затратами человеческой энергии, источником которой является либо мускульная сила, либо сила интеллекта. Поэтому в любом производстве, включая и строительное, принято, что взамен затраченной энергии субъект труда получает пропорциональную заработную плату. Анализ управленческого труда показывает, что его предметом и продуктом является информация [119], которая трансформируется в принимаемые решения, определяющие меру воздействия на объект. При этом и для рабочего, и для управленца энергетические затраты на труд неоднородны, поскольку в любом случае одновременно присутствует и мускульная и интеллектуальная энергия. Разница заключается в том, что в управленческом труде энергия, связанная с умственной работой, существенно выше доли физической энергии.

Важным свойством интеллектуальной энергии является то, что от нее зависит организация труда рабочих, под которой понимают систему мероприятий, обеспечивающих рациональное использование рабочей силы. В общем случае, организация труда включает в себя расстановку людей в процессе производства, разделение и кооперацию, методы труда, нормирование и стимулирование труда, организацию рабочих мест, их обслуживание и необходимые условия труда.

В организации труда довольно часто применяют термин рабочая сила. Однако существо данного понятия в большей степени связана с энергией трудового процесса, если провести аналогию термина рабочая сила с такой единицей измерения энергии как лошадиная сила. Если же провести аналогию с физическим определением силы, тогда проделанную работу (затраты энергии) следует трактовать как произведение преодолеваемой силы на расстояние, связанное с заданным процессом перемещения. В этом случае за аналог расстояния следует принять время, в продолжение которого осуществляется трудовой процесс. И тогда, принятая в строительстве величина трудовых затрат, выраженная в человеко-днях или человеко-часах будет также определять энергию, затраченную на трудовой процесс.

В работе [120] показано, что несвоевременность выполнения строительных работ, определяемая через энтропию, указывает на необходимость вовлечения такой дополнительной управленческой энергии по организации строительного производства, при которой в будущей его реализации исключалась бы несвоевременность выполнения работ, допущенная в прошлом. При этом известно, общее количество управленческого труда, в основном, определяется статьями накладных расходов, состав которых определен нормативными документами [121, 122]. Анализируя содержание статей этих документов можно считать, что управленческий труд многофункционален.

Для линейных работников, от которых непосредственно зависит организация и управление строительным производством, можно выделить конкретные статьи накладных расходов, от интенсификации которых будет зависеть своевременность хода строительного производства. Перечислим статьи накладных расходов, от которых в наибольшей степени зависит качественное управление строительным производством.

Первый раздел нормативного описания состава накладных расходов определяет статьи (выделены курсивом) административно-хозяйственных расходов. В этом разделе интерес представляют две статьи накладных расходов.

1. *Расходы на оплату труда линейного персонала: старших производителей работ (начальников участков), производителей работ, мастеров строительных участков, участковых механиков и рабочих, осуществляющих хозяйственное обслуживание.* Несвоевременность окончания работ может быть связана либо с недостаточностью линейных управленцев, либо с их низкой квалификацией, требующей их замены более компетентными

специалистами, что в итоге потребует соответствующего увеличения расходов по данной статье.

2. *Расходы на оплату консультационных и иных аналогичных услуг.* Повышению компетентности в принятии оперативных управленческих решений может стать приглашение сторонних консультантов, для оплаты которых потребуются дополнительные расходы.

Второй раздел накладных расходов определяет затраты на обслуживание работников строительства. В этот раздел входят следующие две статьи, потенциально влияющие на управление своевременностью строительного производства.

1. *Затраты, связанные с подготовкой и переподготовкой кадров.* Повышение компетентности в принятии оперативных управленческих решений может быть реализовано за счет дополнительных затрат на подготовку и переподготовку управленческих кадров.
2. *Расходы на охрану труда и технику безопасности.* Контролирующие и ответственные лица в пределах своих компетенций могут приостанавливать работы, при выполнении которых нарушается охрана труда и техника безопасности. Следовательно, по этой причине работы могут быть выполнены с нарушением плановых сроков. Таким образом, вложение дополнительных средств в охрану труда и технику безопасности может снизить риск несвоевременного выполнения работ.

Третий раздел определяет расходы по непосредственной организации работ на строительных площадках.

1. *Износ и расходы по ремонту инструментов и производственного инвентаря, используемых в производстве строительных работ.* Если износ рабочего инструмента превышает установленные нормативы или инструмент своевременно не отремонтирован, то фактическая производительность труда становится ниже ее планового значения и, следовательно, возникает отставание в выполнении работ. Для ликвидации подобного рода причин требуется дополнительное финансирование мероприятий данной статьи накладных расходов.
2. *Расходы по проектированию производства работ.* В ряде практических ситуаций может потребоваться дополнительная организационно-технологическая проработка выполняемых работ, связанная с проектированием оснастки, дополнительным нормированием производственных процессов, учетом специфических условий и др. Поэтому для совершенствования организационно-технологического планирования с точки зрения его большей адекватности в определении сроков работ и необходимых для их выполнения ресурсов требуются дополнительные затраты.
3. *Расходы на содержание производственных лабораторий.* Входной контроль поступающих на стройплощадку материалов требует определенного времени, а, следовательно, потенциально на это время может быть задержано выполнение работ. Дополнительные затраты на совершенствование контрольно-лабораторного оборудования объекта может снизить несвоевременность выполнения соответствующих работ.
4. *Расходы по благоустройству и содержанию строительных площадок.* Эти расходы достаточно разнообразны. В частности, они идут на оплату труда по уборке и очистке (с вывозкой мусора) территории строительства и прилегающей к ней уличной полосы, включая участки дорог и тротуаров, устройству дорожек, мостиков и другим работам, связанным с благоустройством территории строительных площадок. Целесообразность увеличения данных расходов, помимо всего прочего, связана с ликвидацией задержки транспортно-логистических и коммуникационных процессов внутри стройплощадки, влияющих на несвоевременность выполнения работ.

На наш взгляд, перечисленные 8 статей накладных расходов в наибольшей степени влияют на управление своевременностью выполнения строительных работ. Однако для отдельных объектов представленный нами перечень может видоизменяться за счет изъятия выбранных статей или добавления других статей, которые опосредованно влияют на ликвидацию несвоевременности выполнения работ.

Для решения задачи распределения затрат на оперативное управление своевременностью выполнения работ, нами разработана модель, блок-схема которой показана на рисунке 4.5.

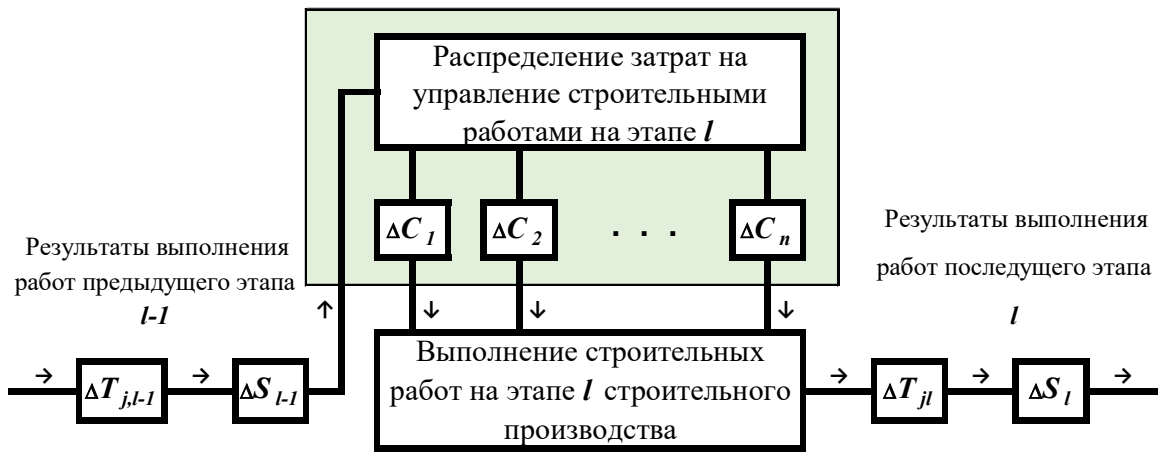


Рисунок 4.5. Модель оптимизационного распределения затрат на оперативное управление своевременностью выполнения работ

На представленной блок-схеме условно показано поэтапное выполнение строительных работ. После выполнения работ на предшествующем этапе, обозначенного литерой l , на основе анализа планируемых и фактических сроков исполнения работ определяется их несвоевременность, интегральной характеристикой которой является рост энтропии ΔS_l . В ранее опубликованной работе [120], нами представлена методика расчета приращения энтропии исполнительного календарного графика выполненных работ. Далее на основе расчета приращения энтропии определена величина полезной активности управления строительством A_{act} . Данная величина по аналогии с применяемым в технике коэффициентом полезного действия (КПД) показывает долю полезной активности управления, которая по определению меняется в пределах от 0 до 100%. Если измеренная величина активности оказалась меньше 100%, то из этого с необходимостью следует решение об увеличении активности управления до ее планового значения. Индекс соответствующего увеличения рассчитывается как обратная величина $I_e = 100/A_{act}$. Например, если полезная управленческая активность оказалась равной 80%, то необходимый индекс увеличения активности будет равен 1,25. Это значит, что дополнительные затраты на управление необходимо повысить на 25%.

Определенную таким образом величину дополнительных затрат, следует считать предельной, поскольку она может зависеть не только от соответствующих субъектов оперативного управления. Предельная сумма увеличения затрат на оперативное управление и ее распределение между выделенными выше статьями должна решаться на административном уровне. А поскольку данная распределительная задача относится к категории трудно формализуемых, то ее оптимизационное решение необходимо дополнить соответствующей методологией экспертного оценивания.

Перейдем к описанию оптимизационной постановки разработанной нами распределительной задачи. Представим количественное распределение затрат по выделенным нами ранее статьям накладных расходов в виде формулы

$$C = \sum_{i=1}^n C_i, \quad (4.15)$$

где C_i – существующие затраты на выделенной статье накладных расходов, определяемых порядковым индексом,

C – общая сумма накладных расходов по всем выделенным статьям, общее число которых определено литерой n .

Общую сумму дополнительных затрат, связанных с уменьшением возникшей несвоевременности работ, определим, как величину прямо пропорциональную общей сумме накладных расходов

$$\Delta C = kC. \quad (4.16)$$

В связи с введением формулы (4.16) отметим следующее. Ранее для величины k было определено его предельное значение, в действительности же данная величина может быть определена более низким значением, например, при недостаточности имеющихся денежных ресурсов. С учетом формул (4.15) и (4.16) сумма дополнительных затрат может быть представлена следующим

уравнением

$$\Delta C = \sum_{i=1}^n \Delta C_i = kC. \quad (4.17)$$

Будем считать, что дополнительные затраты по любой i -й статье пропорциональны произведению её первоначальной относительной доли в общей сумме затрат и весового коэффициента w_i , который в дальнейшем будет определяться через процедуру экспертной оценки.

$$\Delta C_i = \alpha \frac{C_i}{C} w_i, \quad (4.18)$$

где α – коэффициент пропорциональности, определяемый как некоторая постоянная величина.

Из формулы (4.18) следует, что, чем меньше значение коэффициента пропорциональности, тем меньше увеличение всех дополнительных затрат. Подставляя выражение (4.18) в формулу (4.17) получаем следующее уравнение

$$\sum_{i=1}^n C_i w_i = \frac{kC^2}{\alpha}. \quad (4.19)$$

Левая часть уравнения (4.19) представляет собой сумму парных произведений неизвестных весов на известные значения первоначальных величин накладных расходов. Правая часть уравнения (4.19) представляет собой произведение двух известных величин, являющихся по сути дела исходными данными рассматриваемой задачи, деленное на, введенный ранее, коэффициент пропорциональности. Для определения этого параметра преобразуем выражение (4.19) и представим его в виде

$$\alpha = \frac{kC^2}{\sum_{i=1}^n C_i w_i}. \quad (4.20)$$

Из ранее представленного выражения (4) следует, что

$$\alpha = \frac{C \Delta C_i}{C_i w_i}. \quad (4.21)$$

Приравнявая выражения (4.20) и (4.21), разрешаем их относительно искомой доли дополнительных накладных расходов и получаем расчетную формулу, в которой коэффициент пропорциональности сократился

$$\Delta C_i = kC \frac{C_i w_i}{\sum_{i=1}^n C_i w_i}. \quad (4.22)$$

Как видно из выражения (4.22), абсолютное значение дополнительных затрат определено как величина пропорциональная весам, дополнительно нормированная в соответствие с начальным распределением накладных расходов.

Рассмотрим экспертное соотношение весов на следующем простом примере. Допустим, что эксперт оценил веса трех статей накладных расходов, и его ответы соответствуют следующему ранговому ряду $w_1 \geq w_2 \geq w_3$. При решения подобного рода задачи, как правило, вводится формула, определяющая нормировку суммы весов, которая для трех весов будет иметь вид

$$w_1 + w_2 + w_3 = 1. \quad (4.23)$$

Для показанного примера важным является и то, что вершины полученного треугольника представляют собой выпуклое множество, и оно описывается следующей системой неравенств:

$$w_1 \geq w_2, \quad w_1 + w_2 \leq 1, \quad w_1 + 2w_2 \geq 1 \quad (4.24)$$

Если для подобного рода неравенств использовать две псевдоцелевые функции косвенно отразят характерную ширину области допустимых решений. Тогда искомые веса можно определить через максимизацию и минимизацию соответствующих функционалов

$$\begin{aligned} K_{\max} &= \sum_{i=1}^n C_i w_i \Rightarrow \max, \\ K_{\min} &= \sum_{i=1}^n C_i w_i \Rightarrow \min. \end{aligned} \quad (4.25)$$

Заметим, что выражения, входящие в оба функционала имеют наглядную интерпретацию, поскольку они оба представляют собой средневзвешенную стоимость первоначального распределения накладных расходов.

В результате введения двух функционалов (4.25), уравнения нормировки (4.23) и системы неравенств (4.24) решение поставленной выше задачи сводится к решению известной задачи линейного программирования, определяющей оптимальное распределение весов.

Для получения количественного распределения весов дополним представленный пример следующими данными. В результате возникшей несвоевременности выполненных работ получено, что необходимо увеличить общие затраты накладных расходов на 10%, то есть $k=0,1$. На момент определения дополнительных затрат постатейное распределение накладных расходов составило $C_1=1$ млн. руб., $C_2=0,8$ млн. руб., $C_3=0,84$ млн. руб. В результате общая начальная сумма накладных расходов составила $C=2,64$ млн. руб., а суммарные дополнительные затраты $\Delta C=0,264$ млн. руб. Как видно из рисунка 1 минимизация функционала K_{min} привела к равномерному распределению весов по статьям, равным $\frac{1}{3}$. При максимизация функционала K_{max} возникло неравномерное распределение весов $w_1=1$, $w_2=0$, $w_3=0$. В результате распределение дополнительных затрат целесообразно представлять в виде средних величин и полуразмахов их возможных отклонений. Например, для рассчитанного примера результат представлен в виде:

- Для 1-й статьи накладных расходов планируемые дополнительные затраты в среднем составляют $0,182 \pm 0,082$ млн. руб.
- Для 2-й статьи накладных расходов планируемые дополнительные затраты в среднем составляют $0,04 \pm 0,04$ млн. руб.
- Для 3-й статьи накладных расходов планируемые дополнительные затраты в среднем составляют $0,042 \pm 0,042$ млн. руб.

В результате определены средние веса и их возможные погрешности.

Однако следует также учитывать, что анализ причин, приведших к возникновению несвоевременности выполненных работ, осуществляется коллективно, а поэтому мнения отдельных экспертов относительно распределения дополнительных затрат может отличаться. Для демонстрации этого обстоятельства дополним рассмотренный пример ответами другого эксперта, которые соответствуют следующему ранговому ряду: $w_3 \geq w_2 \geq w_1$. Преобразования данных ответов приводит к следующей системе неравенств

$$w_1 \leq w_2, \quad w_1 + w_2 \leq 1, \quad w_1 + 2w_2 \leq 1 \quad (4.26)$$

Минимизация функционала K_{min} , применительно к системе (4.26), привела к следующему распределению весов по статьям: $w_1=0$, $w_2=\frac{1}{2}$, $w_3=\frac{1}{2}$. При максимизация функционала K_{max} возникло равномерное распределение весов $w_1=\frac{1}{3}$, $w_2=\frac{1}{3}$, $w_3=\frac{1}{3}$. В результате распределение дополнительных затрат, представленное в виде средних величин и полуразмахов, имеет вид:

- Для 1-й статьи накладных расходов планируемые дополнительные затраты в среднем составляют $0,05 \pm 0,05$ млн. руб.
- Для 2-й статьи накладных расходов планируемые дополнительные затраты в среднем составляют $0,104 \pm 0,024$ млн. руб.
- Для 3-й статьи накладных расходов планируемые дополнительные затраты в среднем составляют $0,110 \pm 0,025$ млн. руб.

В итоге усреднение по двум экспертам дает следующий результат $\Delta C_1=0.116$ млн. руб., $\Delta C_2=0.072$ млн. руб., $\Delta C_3=0.076$ млн. руб.

Разработана модель распределение дополнительных затрат в составе накладных расходов, необходимых для эффективного регулирования строительного производства в ходе оперативного управление своевременным выполнением работ. Для определения погрешности в оценке значимостей статей накладных расходов в обеспечении своевременности выполнения работ в процессе оперативного управления использован механизм двойной оптимизации на максимум и минимум искусственно введенной псевдоцелевой функция.

4.3.3 Прогнозирование продолжительности строительства на основе энтропийного показателя. Необходимость прогноза окончания строительства, связана с тем, что запаздывание строительства любых объектов практически всегда приводит к негативному социально-экономическому результату. В РФ за несвоевременную сдачу объектов жилищного строительства начисляется штраф, исчисляемый пропорционально задержке ввода объекта в эксплуатацию [123]. Законодательства других стран также используют штрафные санкции за несвоевременное выполнение договорных обязательств [24, 23]. Из этого следует, что для своевременной минимизации возможных штрафов требуется прогноз задержки строительства.

Нами предлагается использовать феноменологический подход, поскольку на его основе может быть создана такая методика прогнозирования, которая позволит обойтись без излишней и сложной детализации отдельных факторов строительного производства, влияющих на продолжительность строительства. В работе [124] определено, что «Феноменологический подход является более общим по сравнению с макроскопическим описанием и применяется при описании явлений, детальный механизм которых недостаточно ясен. Примером феноменологического подхода в практической деятельности является прогнозирование погоды на основе народных примет, оценка деятельности предприятия на основе формальных экономических показателей». Строительное производство является сложной системой и для ее описания применимы два альтернативных подхода: макроописание и микроописание.

Автор статьи [125] разработал аналитическую модель организации ресурсного потенциала строительного предприятия и на ее основе создал компьютерную программу автоматизации управления строительным предприятием [126]. Данным автором представлен подробный перечень ресурсного обеспечения строительных процессов и отмечены следующие факторы, влияющие на ход выполнения строительства:

- постоянно меняющееся многообразие текущей потребности в ресурсах различных типов и видов;
- постоянно меняющееся многообразие текущих ограничений организационного, технического, нормативно-правового характера;
- пространственная вариабельность данных и исполнителей, сложность их коммуникации;
- многообразие и противоречивость критериев организации, планирования и управления;
- жесткий дефицит времени на принятие решений.

В количественном отношении каждый фактор должен иметь некоторые допустимые значения, а их расхождение с фактическими значениями создают напряженность управления процессами. В результате напряженность оперативного управления строительным процессом ставится в зависимость от текущих параметров ресурсного обеспечения. Анализ данного микроописания показывает, что, несмотря на подробную детерминацию составляющих ресурсного обеспечения, рассчитанную напряженность управления следует считать величиной вероятностной. Автором работ [125, 126] отмечается, что допустимые значения ресурсного обеспечения могут определяться диапазоном значений, а источником погрешности других величин являются экспертные оценки, которые по утверждению, данному в работе [127], имеют субъективный характер. Описанный в работах [125, 126] подход учитывает несвоевременность выполнения работ как измеряемый, но не прогнозируемый параметр.

На основе, представленного выше описания, представим интересующую нас модель прогноза. В сборнике статей [32] показано, что производительность труда управленческого персонала определяется затратами на управленческий труд и результаты труда. В организации строительства одним из главных результатов труда является своевременное выполнение строительных работ. При этом, как правило, фактические сроки выполнения работ не соответствуют планируемым срокам. В результате эффективность таких общих функций управления ходом строительного производства оказывается низкой. Причин снижающих эффективность управления много, одни из них классифицируются недостаточным ресурсным обеспечением, другие определяются возможными рисками. Важным обобщением является то, что часть управленческих решений связана с либо некомпетентностью, либо с недостатком времени принятия решения, поэтому часть управленческих воздействий не будет выполняться, а энергия, связанная с их выработкой, будет «рассеиваться» в окружающую среду. Аналогия заключается в следующем: поток всей управленческой энергии (в термодинамике исходящий от нагревателя) направлен на исполнителей строительных работ (в термодинамике рабочее тело), а часть управленческой энергии оказывается невостребованной (в термодинамике тепло передаваемое холодильнику), то есть пропадает. Так как измерителем хаотичности теплового потока является энтропия, то данный измеритель можно применить для оценки хаотичности управленческой энергии. При этом наиболее подходящей является формула расчета информационной энтропии Шеннона. Тогда расчет средней энтропии (в битах) актуального графика строительства может быть проведен по формуле

$$S(T^m) = \frac{\sum_{i=1}^n c_i \ln \frac{b_i^{act} t_i^{act}}{b_i^{plan} t_i^{plan}}}{(194) \cdot \sum_{i=1}^n c_i}, \quad (4.27)$$

где T^m – время, прошедшее с начала строительства до осуществления мониторинга выполненных работ;

n – число работ выполненных на момент проведения мониторинга;

c_i – стоимость i -й выполненной работы;

b_i^{plan}, t_i^{plan} – плановые начало и продолжительность i -й выполненной работы;

b_i^{act}, t_i^{act} – фактические начало и продолжительность i -й выполненной работы.

Однако в формулу (4.27) также входят параметры, которые не отражают всех ситуаций, которые могут встретиться во время проведения мониторинга. Во-первых, в формулу (4.27) входят характеристики только полностью выполненных работ. Во-вторых, в эту формулу входят параметры, связанные с моментами начал выполненных работ, хотя зафиксировать фактические даты начал всех работ зачастую не представляется возможным. В нормативных правилах ведения исполнительной документации в строительстве предусмотрены акты, в которых фиксируются только сроки их приемки [52]. Поэтому, в практическом плане, представленная выше формула (4.27) также имеет весьма ограниченное применение.

Представим описание всех параметров актуального графика строительства, которые получены при планировании и в результате мониторинга. В качестве начала отсчета всех временных характеристик примем момент планируемого и фактического начала строительства. Момент времени проведения мониторинга обозначим как t^m . Число работ, которые начаты до момента проведения мониторинга обозначим как n , а порядковый индекс каждой из них обозначим литерой i . Энтропии работ, которые полностью выполнены на момент проведения мониторинга, рассчитываются по следующей формуле:

$$S_i = \frac{1}{\ln 2} \ln \frac{t_i^{act}}{t_i^{plan}}, \quad (4.28)$$

где t_i^{plan} – планируемая продолжительность выполнения работы;

t_i^{act} – фактическая продолжительность выполнения работы,
определяемая разностью между фактическим ее окончанием
и ее планируемым началом.

Для расчета же энтропий работ, которые выполнены только частично, необходимо использовать оценку объема выполнения, проведенную на дату мониторинга q_i^m .

$$S_i = \frac{1}{\ln 2} \ln \frac{t^m - t_i^{plan_start}}{q_i^m t_i^{plan}}, \quad (4.29)$$

где $t_i^{plan_start}$ – планируемая дата начала работы.

В результате общую энтропийную оценку актуального календарного графика строительства, рассчитанную в битах, определим как среднее взвешенное арифметическое по формуле

$$S = \frac{\sum_{i=1}^n q_i^m c_i S_i}{\sum_{i=1}^n q_i^m c_i}. \quad (4.30)$$

Входящие в выражение (4.30) значения энтропий каждой актуализированной работы рассчитываются по формулам (4.28) или (4.29), в зависимости от полного или частичного выполнения соответствующей работы. При этом следует обратить внимание на следующую особенность.

Анализ формулы (4.29) показывает, что при малых значениях индекса фактически выполненных объемов работ q_i^m , рассчитываемая энтропия стремиться к чрезвычайно большим значениям. Однако при определении средней энтропии эта тенденция нивелируется стремлением весового множителя $q_i^m c_i$ к нулю. Покажем это на следующем примере. Примем плановую продолжительность работы единичной стоимости равную 4 неделям, а ее плановое начало равное нулю. Момент проведения мониторинга примем равным 8 недель от начала выполнения работы. Определим изменение величины $q_i^m c_i S_i$ в зависимости от изменения фактической продолжительности работы от 2 до 8 недель и далее на момент мониторинга в зависимости от

фактической доли выполненного объема работы – q_i^m , изменяющейся от 1 до нуля. Результаты расчета величины – $q_i^m c_i S_i$ представлены в таблице 4.23.

Таблица 4.23

Результаты расчета величины $q_i^m c_i S_i$											
Вариация фактических продолжительностей работ в неделях						Вариация индекса выполненного объема работ					
2	3	4	5	6	7	8	0.80	0.60	0.40	0.20	0.01
Рассчитанные значения $q_i^m c_i S_i$											
-1.00	-0.42	0.00	0.32	0.58	0.81	1.00	1.058	1.042	0.93	0.66	0.08
перевыполнение		план	недовыполнение								

Из представленных данных видно, что при совпадении фактической и плановой продолжительностей оцениваемая работа не вносит изменений в среднюю энтропию актуального графика строительства. При увеличении фактической продолжительности работы по отношению к плановому значению данная работа увеличивает общую энтропию фактического расписания работ. Сначала, при неполном выполнении работы, общая энтропия фактического графика увеличивается. Однако в дальнейшем, за счет уменьшения весовой доли учитываемой в общем объеме выполненных работ, ее влияние на изменение общей энтропии практически стремится к нулю.

В левой части таблицы 4.23 представлены результаты, которые определены досрочным выполнением работы, и они определены отрицательными значениями. В определенной степени подобного рода результаты закономерны, так как ускоренное выполнение одних работ потенциально способствует компенсации увеличения продолжительностей других работ.

Обозначим планируемую продолжительность строительства объекта как – T^{plan} , а соответствующую прогнозируемую продолжительность как – T^{for} . Для того, чтобы своевременно построить объект надо оставшийся объем работ выполнить за время $T^{plan} - t^m$. Если же оставшийся объем работ будет выполнен за время $T^{for} - t^m$, то общую энтропию прогнозируемой продолжительности (в битах) можно рассчитать по формуле:

$$S(T^{for}) = -\frac{\ln\left(\frac{T^{for} - t^m}{T^{plan} - t^m}\right)}{\ln 2}. \quad (4.31)$$

Далее, если вместо прогнозируемой энтропии подставить энтропию актуального графика строительства, рассчитанную по формуле (4.30), то тогда можно рассчитать прогнозируемую продолжительность по следующей формуле

$$T^{for} = t^m + (T^{plan} - t^m) \cdot \exp(S \ln 2). \quad (4.32)$$

Рассмотрим применение представленной нами методики на практическом примере, связанным со строительством 25 этажного монолитного здания общей площадью 9000 м². Планируемые характеристики этого жилого здания взяты из строительного норматива, который на территории РФ в настоящее время имеет рекомендательный статус [14]. Строительство здания включает последовательное выполнение следующих 4-х видов работ.

- На выполнение подготовки территории строительства отводится 1 мес. и планируются затраты в 3% капитальных вложений.
- На выполнение подземных работ отводится 3 месяца и планируется 25% капитальных вложений.
- На строительство надземной части здания отводится 9 месяцев и планируется 56% капитальных вложений.
- На выполнение внутренних работ отводится 3 месяца и планируется 16% капитальных вложений.

Мониторинг строительства осуществлен через 6 месяцев от начала строительства и в результате его проведения получены следующие результаты.

- Работа по подготовке территории выполнена полностью ($q_1^m=1$) и фактически составила 2 мес. Информационная энтропия, рассчитанная по формуле (4.28), дала результат $S_1 = \ln(2/1)/\ln 2 = 1$ бит.
- Выполнение подземных работ осуществлено полностью ($q_2^m=1$) за 2,5 мес. Фактическое окончание этой работы 4,5 мес., а ее плановое начало 1 мес. Информационная энтропия, рассчитанная по формуле (4.28), дала результат $S_2 = \ln[(4,5-1)/3]/\ln 2 = 0,22$ бит.

- Объем строительства надземной части здания составил 20% ($q_3^m=0,2$). Так как работа выполнена частично, то информационная энтропия, рассчитанная по формуле (4.29), дала результат $S_3=\ln[(6-4)/(0,2 \cdot 9)]/\ln 2=0,15$ бит.

Расчет средней энтропии актуального графика выполненных работ, проведенный по формуле (4.30), дал следующий результат:

$$S=(1 \cdot 3 \cdot 1 + 1 \cdot 25 \cdot 0,22 + 0,2 \cdot 56 \cdot 0,15)/(1 \cdot 3 + 1 \cdot 25 + 0,2 \cdot 56)=0,26 \text{ бит}$$

Подставляем рассчитанное значение усредненной информационной энтропии в формулу (4.32) и получаем результат предсказания продолжительности строительства данного объекта:

$$T^{for}=6+(16-6) \text{Exp}(0,26 \cdot \ln 2)=18 \text{ мес.}$$

Таким образом, результат мониторинга, основанный на документальной фиксации сроков выполнения работ, дает прогноз общей задержки строительства на 2 месяца.

В результате представленного исследования получена модель оценки прогноза продолжительности строительства. В ее основу заложен феноменологический подход, связанный с определением энтропии актуального графика строительства и базирующийся на использовании минимальной информации о планируемом выполнении строительства и актуальных объемах выполненных работ, полученных в результате мониторинга хода строительного производства.

4.4 Прогноз на основе экстраполяции выполненных объемов работ

4.4.1 Прогнозирование сроков строительства на основе модели линейной экстраполяции выполненных работ. Данная модель позволяет проводить количественную оценку даты окончания строительства. Покажем ее особенности на примере мониторинга, осуществляемого в рамках автоматизированной системы инвестиционного контроля (АСИК) [48], практически примененной на объекте, застройщиком которого является строительная организация SetlCity [47]. Логика данного метода прогноза основана на использовании линейной экстраполяции планируемых работ во времени. Однако, рассматривая опыт организации строительства в США, авторы монографии [30] графически показали, что планируемый ход строительства представляет собой нелинейную функцию времени. В данной работе представлен рисунок, показывающий возможный характер роста выполняемых объемов работ во времени (см. рисунок 4.6).

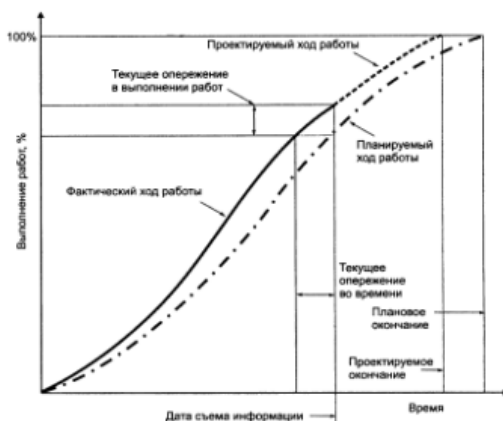


Рисунок 4.6. Схема графического анализа выполнения плановых сроков строительства [30, с. 155].

Из данного рисунка явно видно, что планируемый ход строительства представляет собой нелинейную функцию времени. Если же не учитывать фактическую нелинейность и представить эту функцию в виде линейной зависимости и по ней определять выполненные объемы работ, то окажется, что вначале (до точки перегиба показанной кривой) будет иметь место фактическое недовыполнение, а во второй половине графика фактически будет фиксироваться перевыполнение планового объема.

Аналогичная нелинейность планируемого роста капитальных вложений во времени заложена и в российские нормы продолжительности строительства [14]. В таблице 4.4 показан пример планируемого распределения капитальных вложений при строительстве жилого кирпичного здания.

Таблица 4.4

Варианты планируемого распределения выполнения объемов работ для 9-ти этажного кирпичного здания площадью 6000 кв. м

1 мес.	2 мес.	3 мес.	4 мес.	5 мес.	6 мес.	7 мес.	8 мес.	9 мес.	10 мес.
Подгот.	Подземка	Надземная часть						Отделка	
Планируемое распределение выполнения работ по СНиП, %									
7	21	32	43	53	64	74	85	93	100
Планируемое равномерное распределение выполнения работ, %									
10	20	30	40	50	60	70	80	90	100

Из данных таблицы 4.4 следует, что к окончанию 8-го месяца строительства должно быть выполнено 85% объема всех работ. Если же не учитывать реальную неравномерность, то при линейном росте объема работ нормальным будет считаться выполнение объема работ на 80%. В результате для следующего периода оперативного управления ходом строительства не будет запланировано дополнительное увеличение темпа строительства, и это обстоятельство потенциально может привести к срыву запланированного срока окончания строительства. В работе [128] представлен усовершенствованный метод экстраполяции, учитывающий нелинейный характер роста объема строительных работ во времени.

4.4.2 Прогнозирование сроков строительства на основе модели нелинейной экстраполяции выполненных работ. Теоретические положения данного метода иллюстрируются на рисунке 4.7. Для отображения любого варианта, отличающегося абсолютной продолжительностью выполнения комплекса работ на рассматриваемом объекте, введены относительные координаты по объему и продолжительности выполнения работ. В результате рост фактического и планового объема выполняемых работ будет меняться от 0 до 100% в соответствующих координатах относительного времени.

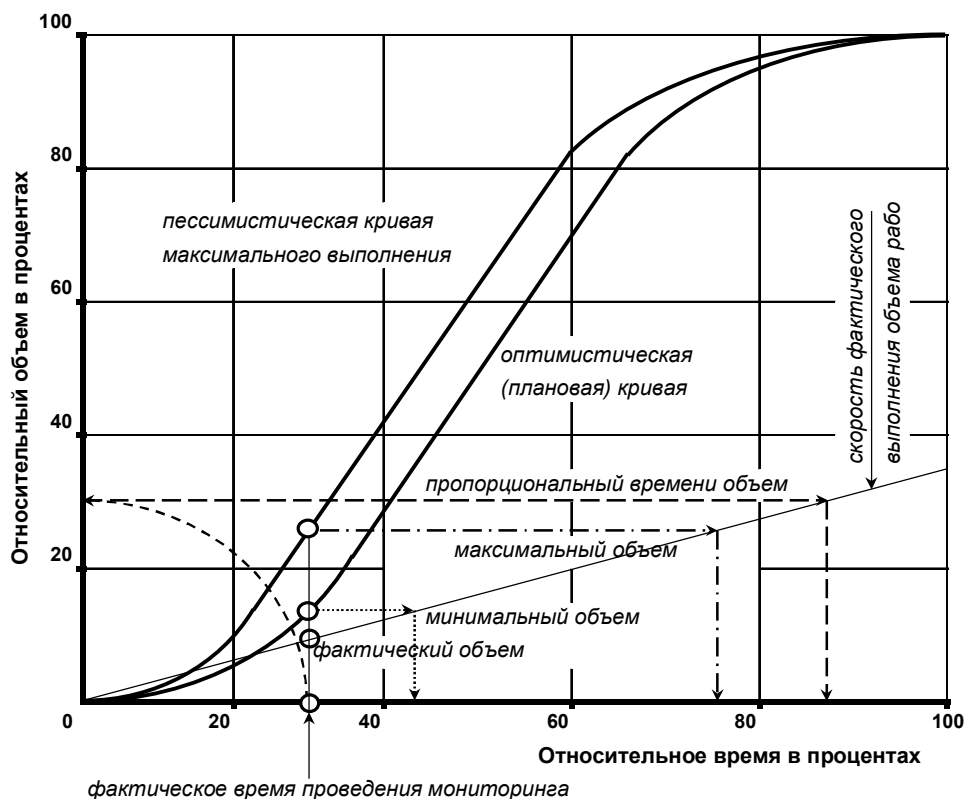


Рисунок 4.7. Эскизное представление метода нелинейной экстраполяции

В результате для любых вариантов выполнения неизменными будут две точки. Началу выполнения работ соответствует начало координат, а окончанию выполнения работ будет соответствовать 100% времени и 100% выполненного объема. На рисунке 4.7 показаны 2 сигма-

образные кривые, соединяющие эти две точки. Нижняя кривая определяет детерминированный характер выполнения работ, и она соответствует плановому ходу выполнения работ.

Рассмотрим следующий пример. Допустим, что с начала строительства прошло 30% времени, и тогда, согласно рассматриваемой кривой, плановое выполнение должно быть равно 15%, а фактическое выполнение составило 12% суммарного объема. В этом случае прогноз окончания строительства рассчитывается как экстраполяция плановой продолжительности ($T_{пл}$) и с учетом этих данных получается, что прогнозируемая продолжительность должна быть увеличена в следующей пропорции $T_{прог}/T_{дир}=15/12$, то есть в 1,25 раза. Верхняя сигма-образная кривая характеризует пессимистическое выполнение объема работ, и данная кривая формируется посредством использования статистического моделирования. При этом усредненный индекс несвоевременности выполненных работ как раз и будет определяться отношением детерминируемого объема выполнения к фактически выполненному объему. Допустим, что максимальный объем работ согласно статистическому моделированию составил 25,9%. Следовательно, пессимистический прогноз будет заключаться в том, что плановая продолжительность должна быть увеличена в пропорции 25,9/12, то есть в 2,16 раза. Таким образом, в отличие от метода линейной экстраполяции данный метод позволяет рассчитать диапазон возможного прогноза продолжительности строительства, изменяющийся от оптимистического до пессимистического значения.

Выводы по 4 главе

1. Установлено, что методы прогнозирования, основанные на принципах регрессионного анализа не в состоянии учесть возможную нелинейность прогноза от объемов выполненных работ, что приводит к неадекватной интерпретации погрешности прогноза окончания строительства.
2. Метод прогнозирования, основанный на принципе нейросетевого моделирования, позволяет учесть возможную нелинейность прогноза от объемов выполненных работ, но физическая интерпретация весовых параметров не поддается логическому анализу, в силу чего также возникает неадекватная интерпретация погрешности прогноза окончания строительства.
3. Разработана модель оценки прогноза продолжительности строительства, основанная на использовании феноменологического подхода, связанного с определением энтропии актуального графика строительства дает наиболее адекватный прогноз выполнения строительства на основе минимальной информации по актуальным объемам выполненных работ.
4. Применение методов прогноза, основанных на экстраполяции, дает наиболее адекватные результаты в случае учета нелинейности объема выполняемых работ во времени.

Глава 5. Методы планирования расписаний работ, основанные на нормативной статистике

5.1 Статистическое моделирование поточной застройки градостроительных комплексов

5.1.1 Нормативная статистика в организации строительства. Ранее нами было отмечено, что одним из подходов определения продолжительности строительства является статистическая обработка, полученных в прошлом данных. При этом по умолчанию считается, что обрабатываемые данные адекватными планируемыми условиям строительства. Если рассмотреть возможности различных структурных подразделений, осуществляющих календарное планирование строительства, то окажется, что у них разная репрезентативность статистики. А если строительный подрядчик на момент планирования вообще не определен, то планирующему органу требуется более общая статистика, не зависящая от конкретного подрядчика. На наш взгляд универсальным источником недостающей статистикой могут быть различные нормативы по продолжительности строительства [13, 14, 27, 37]. Законодательное значение представленных нормативов может быть изначально различным и более может меняться со временем. Например, норматив [27] изначально был ориентирован на статус рекомендательного, а норматив [14] имел статус обязательного до того периода пока его не заменил норматив [13]. В настоящее время действие норматива [13] приостановлено, а норматив [14] стал снова востребован. В соответствии с изменениями статуса нормативов меняются и методические нормативы, определяющие порядок определения продолжительности строительства [37].

Как известно, в ранее действовавших нормах продолжительности строительства [14] были выделены четыре цикла работ – это подготовительные работы, работы нулевого цикла, работы по устройству надземной части здания и цикл внутренних работ, а нормативе [13] выделены только 2 стадии. Таким образом, вне зависимости от современного статуса норматива всегда существует задача регрессионного определения продолжительностей отдельных работ по общей продолжительности строительства, которая поставлена и решена в работе [129].

Известно, что основополагающими элементами для целей календарного планирования строительства являются организационно-технологическая схема возведения соответствующего объекта. Поэтому в статье [129] предложено подготовительные работы, работы нулевого цикла и внутренние работы можно считать одностадийными. А работы по возведению надземной части здания целесообразно разбить на этажи.

С другой стороны и количество норм, представленных в новом документе, даже для наиболее представительного класса жилых зданий явно недостаточно, и эта недостаточность сводит на нет рекомендацию принятого норматива к использованию экстраполяционно-интерполяционных процедуры, поскольку в некоторых случаях в нормах присутствует всего лишь один объект представитель.

В этом отношении гораздо более представительными являются «старые» нормы, определенные в СНиП 1.04.03-85* [38], которые, по нашему мнению, как раз и могут послужить статистической основой для рекомендаций по применению экстраполяционно-интерполяционных процедур.

В качестве примера, подтверждающего представительность «старых» норм, можно привести нормы продолжительности строительства жилых зданий, с учетом их современной типологии и с числом этажей пять и более. В данном нормативе содержится достаточный для статистических выводов репрезентативный массив данных, включающий 27 норм для монолитных зданий, 20 норм для кирпичных зданий и 27 норм для панельных зданий. В качестве основных параметров «старых» и «новых» норм, кроме типа здания, указывается общая площадь и число этажей, и поэтому именно от них должны зависеть нормы продолжительности отдельных циклов работ. В качестве примера рассмотрим нормативную статистику кирпичных зданий, представленную в таблице 5.1.

Таблица 5.1.

Нормативная статистика кирпичных зданий [14].

№ п/п	Число этажей N	Общая площадь F м²	Норма продол. Т, мес.	В том числе по циклам				Процентное распределение стоимости			
				Подготовка	Нулевой цикл	Надзем. часть	Отделка	Подготовка	Нулевой цикл	Надзем. часть	Отделка
1	5	1500	6.5	1	1.0	3.0	1.5	7	9	63	21
2	5	2500	7.0	1	1.0	3.5	1.5	7	7	67	19
3	5	4000	8.0	1	1.0	4.5	1.5	7	11	66.5	15.5
4	5	6000	9.0	1	1.0	5.5	1.5	6	11	75	8
5	9	3000	8.0	1	1.0	4.5	1.5	9	15	64.5	11.5
6	9	6000	10.0	1	1.5	5.5	2.0	7	19.5	58.5	15
7	9	8000	11.0	1	1.5	6.5	2.0	5	12.5	65.5	17
8	9	10000	12.0	1	1.5	7.5	2.0	5	12.5	69.5	13
9	9	12000	12.5	1	1.5	8.0	2.0	5	3.5	78	13.5
10	10	3500	8.0	1	1.0	4.5	1.5	9	15	64.5	11.5
11	10	7000	9.5	1	1.0	5.5	2.0	6	4	75	15
12	10	9000	10.5	1	1.5	6.0	2.0	6	6	72.5	15.5
13	10	11000	11.5	1	1.5	7.0	2.0	6	3.5	77	13.5
14	10	13000	12.5	1	1.5	8.0	2.0	5	3.5	78	13.5
15	12	4000	9.5	1	1.5	5.0	2.0	6	6.5	68.5	19
16	12	8000	10.5	1	1.5	6.0	2.0	6	6	72.5	15.5
17	12	12000	13.5	1	2.0	8.5	2.0	6	4	79	11
18	14	5000	9.5	1	1.5	5.0	2.0	6	6.5	68.5	19
19	14	8000	11.0	1	1.5	6.5	2.0	5	12.5	65.5	17
20	14	12000	13.5	1	2.0	8.5	2.0	6	4	79	11

Анализируя структуру продолжительностей циклов основных работ, приходим к следующим выводам. Для подготовительного периода всех типов зданий как в «старом» СНиПе, так и в новом нормативе отводится 1 месяц. Считаем, что продолжительность работ нулевого цикла (НЦ) функционально зависит от общей площади здания, так именно она определяет основную нагрузку на его основание и фундамент. Аналогичный вид регрессионной зависимости может быть принят и для аппроксимации отделочных работ (Отд), объем и продолжительность которых также линейно связана с общей площадью здания. В регрессионную зависимость продолжительности работ по надземной части (НЧ) здания следует добавить учет его этажности исходя из того, что продолжительности работ по каждому последующему этажу будут возрастать на некоторую постоянную величину по сравнению с предыдущим этажом. Тогда суммируя добавки по всем этажам и ограничиваясь старшей степенью итогового выражения, принимаем, что общая добавка будет пропорциональна квадрату числа этажей здания.

В результате обработки статистического массива, представленного в таблице 5.1, получены следующие регрессионные зависимости.

$$\begin{aligned} T_{\text{НЦ}}^k &= 0.885 + 0.000067 \cdot F \\ T_{\text{НЧ}}^k &= 2.622 + 0.000418 \cdot F + 0.00284 \cdot N^2 \\ T_{\text{Отд}}^k &= 1.505 + 0.000047 \cdot F \end{aligned} \quad (5.1)$$

Проверка этих зависимостей показала, что с учетом округления до 0.5 месяца, полное совпадение достигнуто: для нулевого цикла в 65% случаев, для надземной части в 30% случаев, а для цикла отделочных работ в 85% случаях. При расхождении в 0.5 месяца и менее достигнуто совпадение в 100% случаев.

По результатам обработки статистических массивов монолитных и панельных зданий получены регрессионные зависимости, показанные в таблице 5.2.

Таблица 5.2.

Регрессионные уравнения по продолжительностям циклов работ, выполняемых при строительстве жилых зданий.

Тип здания	Цикл работ	Св. член	Коэфф. при F	Коэфф. при N ²	P при Δ=0.5
Кирпичное	Нулевой цикл	0.885	0.000067		1.00
	Надземная часть	2.622	0.000417	0.00284	1.00
	Цикл отделки	1.505	0.000047		1.00
Монолитное	Нулевой цикл	0.570	0.000106		0.71
	Надземная часть	3.041	0.000364	0.00354	0.77
	Цикл отделки	0.837	0.000118		0.85
Панельное	Нулевой цикл	0.856	0.000049		1.00
	Надземная часть	2.284	0.000168	0.00265	0.81
	Цикл отделки	0.872	0.000049		0.97
Кирпично-монолитное	Нулевой цикл	0.684	0.000093		
	Надземная часть	2.863	0.000384	0.00340	
	Цикл отделки	1.101	0.000093		

Результаты сравнения всех 3-х типов зданий показали, что вероятность (P) отклонения продолжительности, рассчитанной по полученным регрессионным уравнениям, от данных по нормативной статистике, определенная порогом в 0.5 месяца и менее, составила более 71%.

По отношению к данным СНиП, которые соответствовали статистике, полученной до 1990 г., в современном строительстве жилых зданий получили распространение и кирпично-монолитные дома. Для регрессионного описания продолжительностей основных циклов работ по этому типу зданий, нами объединена статистика по кирпичным и монолитным домам и на основе этого объединения получены соответствующие регрессионные уравнения.

Для дополнительного подтверждения адекватности полученных уравнений, рассмотрим экономический критерий, основанный на анализе чувствительности проекта к вариации структуры продолжительностей отдельных циклов работ. В методических рекомендациях работы [39] преимущественной оценкой экономической эффективности проектов является чистый дисконтированный доход, однако его вычисление связано с наличием количественной информации о доходном периоде строящегося объекта, которая, особенно в ранней стадии проектирования, может отсутствовать. Данное ограничение можно обойти, если воспользоваться расчетом показателя, получившего название минимальная стоимость виртуальной продажи [40].

По представленным в таблице 5.2 регрессионным выражениям, рассчитываются только отдельные продолжительности основных циклов работ. В итоге суммарная продолжительность

может отличаться от нормативной продолжительности, определенной в нормативе [14], и это отличие будет также зависеть от принятой при планировании строительства его организационно-технологической схемы.

Поэтому с целью совершенствования перехода от от общей продолжительности строительства к продолжительностям выполнения отдельных работ для жилых зданий получены регрессионные зависимости от их этажности и площади. В результате предлагаемой методики получено оптимальное распределение затрат по выделенным стадиям строительства и на основании этого распределения затрат можно проводить сравнительную оценку проектируемых вариантов строительства.

5.1.2 Основные алгоритмы расчета поточной организации работ.

Алгоритм расчета расписаний работ методом критического пути.

Для расчета расписания работ, представленного на рисунке 5.1, опишем его организационно-технологическую схему.

№ здания	А. Подготовка		Б. Фундамент		В. Коробка		Г. Отделка	
1	0	4	4	11	11	29	29	41
		4		7		18	12	
	0	4	4	11	11	29	33	45
2	4	9	11	20	29	45	45	60
		5		9		16	15	
	15	20	20	29	29	45	45	60
3	9	12	20	28	45	59	60	70
		3		8		14	10	
	35	38	38	46	46	60	60	70

Рисунок 5.1. Организационно-технологическая схема поточного строительства 3-х зданий.

Последовательность строительства 3-х зданий определена следующим порядком освоения фронтов работ 1→2→3. Технологическая последовательность работ на всех зданиях определяется следующим порядком: подготовительные работы (А. Подготовка), затем работы нулевого цикла (Б. Фундамент), создание коробки здания (В. Коробка) и отделочные работы (Г. Отделка). Организация всего комплекса работ выполняется частными (специализированными) потоками ресурсов, переходящих с объекта на объект. При представленном разделении работ на основании таких характеристик зданий как этажность и общая площадь по СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений» можно определить продолжительности отдельных работ. На рисунке 5.1 заданные продолжительности работ показаны в центре каждого элемента матрицы. Вверху элементов показаны ранние сроки свершения событий, а внизу – поздние сроки, при этом слева показаны начала работ, а справа их окончания.

Алгоритм расчета расписание работ по методу критического пути (МКП) состоит из 3-х последовательно выполняемых блоков.

Блок 1. Определение ранних сроков свершения событий.

1-й шаг. Ранний срок начального события приравняется какой-либо дате и определяется как нулевой момент времени.

2-й шаг. Ранний срок окончания работы определяется ранним сроком её начала и продолжительности.

3-й шаг. Ранний срок последующего события, если от предыдущих событий оно зависит через множество организационно-технологических связей, определяется максимальным сроком из всех предыдущих событий.

Блок 2. Определение поздних сроков свершения событий.

1-й шаг. Поздний срок конечного события приравняется соответствующему раннему сроку, рассчитанному в блоке 1.

2-й шаг. Поздний срок начала работы определяется поздним сроком её окончания минус продолжительность работы.

3-й шаг. Поздний срок предшествующего события, если от него через соответствующие организационно-технологические связи зависят множество последующих событий, определяется минимальным сроком из этих последующих событий.

Блок 3. Определение критических работ, общих и свободных резервов времени событий.

1-й шаг. Если ранние и поздние сроки работ совпадают, то такие работы считаются критическими, и они определяют критический путь, связывающий общее начало и общее окончание расписания работ. На рис.2 все критические работы выделены тонированием.

2-й шаг. Разница между поздним окончанием (началом) и ранним окончанием (началом) определяется как общий резерв времени. Полное исчерпание общего резерва времени какой-либо некритической работы делает последующие работы критическими.

3-й шаг. Минимальная разница между ранними началами всех последующих смежных работ и ранним окончанием предшествующей работы определяется как свободный резерв времени. Исчерпание свободного резерва времени конкретной работы не приводит к изменению ранних сроков начал всех остальных работ.

На рисунке 5.2 показан календарный график, рассчитанный в программе *Microsoft Project*.

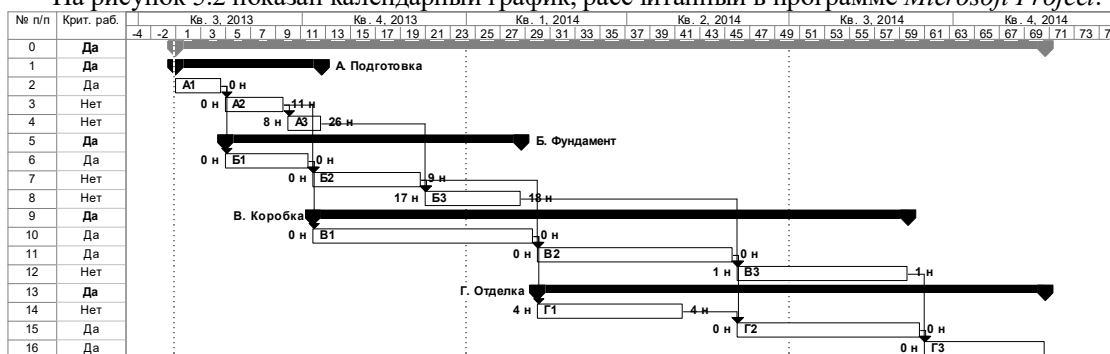


Рисунок 5.2. Календарный график, рассчитанный в программе *Microsoft Project*

Слева от каждой работы показаны свободные резервы времени, а справа соответствующие общие резервы времени.

В соответствие с принятой топологией работ можно рассчитать и другие расписания их выполнения. Отличие в расчете альтернативных расписаний заключается в учете ограничений, накладываемых на связи между работами [5]. Рассмотрим применение метода расчета поточного расписания работ при условии отсутствия перерывов при переходе трудовых ресурсов с объекта на объект. Данный метод расчета получил сокращенное название МНИР (метод непрерывного использования ресурсов) и в соответствие с ним рассчитываются периоды развертывания между смежными работами по формуле [130].

$$T_{i+1}^p = \max \sum_{j=1, n}^{j=1, n} (t_{i,k} - t_{i+1,k-1}), \quad (5.2)$$

где i – индекс вида работ, определяемым общим числом m ;

j – индекс фронта работ, определяемым общим числом n .

$t_{i,j}$ – продолжительность выполнения i -ой работы на j -ом фронте.

Применяя формулу (5.2) для расчета периодов развертывания к организационно-технологической схеме, отображенной на рисунке 5.1, получаем расписание, рассчитанное по МНИР (см. рисунок 5.3).

№ здания	А. Подготовка		Б. Фундамент		В. Коробка		Г. Отделка	
1	0	4	4	11	11	29	33	45
	0	4	4	11	11	29	33	45
2	4	9	11	20	29	45	45	60
	4	9	11	20	29	45	45	60
3	9	12	20	28	45	59	60	70
	9	12	20	28	45	59	60	70

Рисунок 5.3. Расписание работ, рассчитанное по методу непрерывного использования ресурсов.

В рассчитанном расписании, по мнению автора работы [5], все работы являются критическими, а поэтому считается, что ранние и поздние сроки совпадают. При этом при переходе трудовых ресурсов с объекта на объект отсутствуют организационные перерывы.

Рассмотрим применение другого метода расчета поточного расписания работ при условии отсутствия перерывов при выполнении работ на каждом объекте. Данный метод расчета получил

сокращенное название МНОФ (метод непрерывного освоения фронтов) и в соответствии с ним также рассчитываются периоды развертывания между смежными работами по аналогичной формуле [130].

$$T_{j,j+1}^p = \max \sum_{k=1}^{i=1,m} (t_{j,k} - t_{j+1,k-1}) \quad (5.3)$$

где i – индекс вида работ, определяемым общим числом m ;

j – индекс фронта работ, определяемым общим числом n .

$t_{i,j}$ – продолжительность выполнения i -ой работы на j -ом фронте.

Применяя формулу (5.3) для расчета периодов развертывания к организационно-технологической схеме, отображенной на рисунке 5.1, получаем расписание, рассчитанное по МНОФ (см. рисунок 5.4).

№ здания	А. Подготовка		Б. Фундамент		В. Коробка		Г. Отделка	
1	0	4	4	11	11	29	29	41
	0	4	4	11	11	29	29	41
2	15	20	20	29	29	45	45	60
	15	20	20	29	29	45	45	60
3	35	38	38	46	46	60	60	70
	35	38	38	46	46	60	60	70

Рисунок 5.4. Расписание работ, рассчитанное по методу непрерывного освоения фронтов работ.

В рассчитанном расписании также все работы являются критическими, а поэтому ранние и поздние сроки совпадают. При этом технологическая последовательность выполнения работ на каждом объекте реализуется без перерывов.

Однако, соблюдение исходных, положенных в расчет любого метода расчета расписания работ возможно только для детерминированных продолжительностей работ. При вероятностном календарном планировании, осуществляемом по алгоритмам МНИР и МНОФ обеспечить заданный принцип возможно только при резервировании периодов развертывания частных потоков [131]. Поэтому, если не увеличить значения детерминированных периодов развертывания, то заложенная в расчет структура строительного потока будет неустойчива. Однако и для расчета по МКП также невозможно сохранить начальную структуру строительного потока, так как при случайном изменении продолжительностей работ состав критических работ, определяющих структуру расписания, также может измениться. Очевидно, что все нами отмеченное на примере индивидуального потока справедливо и для градостроительных комплексов относится и для организации строительства промышленных объектов [132, 133].

5.1.3 Статистическое моделирование календарных графиков застройки градостроительных комплексов. Нами выделены градостроительные комплексы по причине использования для них нормативной статистики. Помимо того, что используемая статистика обладает свойством репрезентативности, при организации строительства градостроительных комплексов имеет место не нарушаемая технологическая последовательность выполнения укрупненных видов работ: подготовительных, подземных, надземных и внутренних работ.

С помощью программы *Microsoft Project*, в показанную ниже электронную таблицу (см. рисунок 5.5), вводятся исходные данные, отражающие различные состояния календарного планирования строительных работ. Названия, выполняемых в проекте задач, представлены в соответствии с иерархическим принципом, для чего в названиях задач использованы позиционные смещения. За каждой выполняемой задачей закрепляется идентификационный индекс (столбец «Ид.»). В нулевой строке без смещения отображается задача, которая является обобщением данных по всему проекту. Эта задача разделяется на две составные задачи, определенные как «График строительства зданий» и «Конец строительства». В график строительства зданий входят отдельные графики, отражающие строительство каждого из 4-х представленных зданий. В состав задачи «Конец строительства» вводится график продаж введенных в эксплуатацию зданий. Список задач, выполняемых на каждом отдельном здании, представляют, так называемые простые задачи, то есть такие задачи, которые не включают в себя другие задачи.

Ид.	Связи предш.	Название задачи	Текущее начало	Текущее время	Текущий конец	Базовое начало	Базовое время	Базовый конец	Базовые затраты	Дата заказа	Объем %	Освоен. объем	Время от начала	Рост энтропии	Энтроп. задержка	Прогноз окончания строительства	Процент времени	Баз % объема	Макс % объема
0		ПредсказаниеОкончанияСтройки	02.01.17	191.22 н	01.09.20	02.01.17	163 н	14.02.20	960 мр.							Выполнен объем на	0	0	0
1		График строительства зданий	02.01.17	173.22 н	28.04.20	02.01.17	145 н	11.10.19	-1 920 мр.			441 мр.	55.16 н	0.36	25.64 н	22.9 %	5	4.6	5.4
2		Здание №1 (18 т.квм)	02.01.17	73.26 н	29.05.18	02.01.17	65 н	30.03.18	-720 мр.							на усредненную дату	10	9.5	10.9
3		Подготовка	02.01.17	5.55 н	08.02.17	02.01.17	5 н	03.02.17	-58 мр.	03.02.17	100					25.12.2017	15	13.7	15.3
4	3	Подземная часть	08.02.17	13.73 н	16.05.17	06.02.17	12 н	28.04.17	-151 мр.	12.05.17	100					индекс несвоевремен.	20	17.9	20
5	4	Надземная часть (1-8эт)	16.05.17	20.08 н	03.10.17	01.05.17	18 н	01.09.17	-198 мр.	02.10.17	100					1.48	25	21.9	25.7
6	5	Надземная часть (9-16эт)	03.10.17	20.01 н	20.02.18	04.09.17	18 н	05.01.18	-198 мр.	18.12.17	0					МИНим.прогноз задержки	30	26.5	32.7
7	6	Внутренние работы	20.02.18	13.89 н	29.05.18	08.01.18	12 н	30.03.18	-115 мр.	НД	0					46 н	35	33.6	38.6
8		Здание №2 (13 т.квм)	11.10.17	86.22 н	06.06.19	24.10.17	58.8 н	07.12.18	-520 мр.							МИНим. дата задержки	40	40.7	47.9
9	3	Подготовка	11.10.17	6.31 н	24.11.17	24.10.17	5 н	27.11.17	-21 мр.	11.12.17	100					31.08.2020	45	49	53.8
10	9;4	Подземная часть	24.11.17	4.37 н	25.12.17	28.11.17	4 н	25.12.17	-42 мр.	25.12.17	30					Средний прогноз задержки	50	53.5	59.1
11	6;10	Надземная часть (1-5эт)	20.02.18	18.14 н	27.06.18	08.01.18	16 н	27.04.18	-200 мр.	НД	0					56 н	55	59.7	65.6
12	11	Надземная часть (6-10эт)	27.06.18	21.07 н	21.11.18	30.04.18	16 н	17.08.18	-200 мр.	НД	0					Средняя дата задержки	60	65.3	68.6
13	7;12	Внутренние работы	21.11.18	28.16 н	06.06.19	20.08.18	16 н	07.12.18	-57 мр.	НД	0					09.11.2020	65	69	72.1
14		Здание №3 (6 т.квм)	27.06.18	64.34 н	20.09.19	28.05.18	48 н	26.04.19	-240 мр.							Среднее уменьшение NPV	70	72.9	76.1
15	9	Подготовка	27.06.18	6.84 н	14.08.18	28.05.18	4 н	22.06.18	-10 мр.	НД	0					71 мр.	75	77.4	81.7
16	15;10	Подземная часть	14.08.18	14.22 н	21.11.18	25.06.18	8 н	17.08.18	-41 мр.	НД	0					Средняя пеня по Ф3№214	80	83.1	86.8
17	12;16	Надземная часть (1-8эт)	21.11.18	18.95 н	03.04.19	20.08.18	12 н	09.11.18	-71 мр.	НД	0					100 мр.	85	88.1	90.8
18	17	Надземная часть (8-16эт)	03.04.19	12 н	26.06.19	12.11.18	12 н	01.02.19	-71 мр.	НД	0					МАКСим.прогноз задержки	90	92.5	94.2
19	18;13	Внутренние работы	26.06.19	12.33 н	20.09.19	04.02.19	12 н	26.04.19	-47 мр.	НД	0					66 н	95	96.5	97.5
20		Здание №4 (11 т.квм)	27.03.19	56.74 н	28.04.20	03.12.18	45 н	11.10.19	-440 мр.							МАКСим.дата прогноза	100	100	100
21	15	Подготовка	27.03.19	4.13 н	25.04.19	03.12.18	4 н	28.12.18	-22 мр.	НД	0					18.01.2021			
22	21;16	Подземная часть	25.04.19	8.92 н	26.06.19	31.12.18	5 н	01.02.19	-31 мр.	НД	0					Макс.уменьшение NPV			
23	18;22	Надземная часть (1-5эт)	26.06.19	15.65 н	14.10.19	04.02.19	14 н	10.05.19	-156 мр.	НД	0					115 мр.			
24	23	Надземная часть (5-10эт)	14.10.19	17.38 н	12.02.20	13.05.19	14 н	16.08.19	-156 мр.	НД	0					Макс.пеня по Ф3№214			
25	19;24	Внутренние работы	12.02.20	10.66 н	28.04.20	19.08.19	8 н	11.10.19	-75 мр.	НД	0					200 мр.			
26		Конец строительства	29.05.18	117.96 н	01.09.20	02.04.18	98 н	14.02.20	2 880 мр.							Линейная задержка			
27	7	Продажа здания №1	29.05.18	26 н	27.11.18	02.04.18	26 н	28.09.18	1 080 мр.							50 н			
28	13	Продажа здания №2	06.06.19	20 н	24.10.19	10.12.18	20 н	26.04.19	780 мр.										
29	19	Продажа здания №3	20.09.19	13 н	20.12.19	29.04.19	13 н	26.07.19	360 мр.										
30	25	Продажа здания №4	28.04.20	18 н	01.09.20	14.10.19	18 н	14.02.20	660 мр.										

Выполнение простых задач обеспечивает выполнение всех составных задач, а все не простые задачи имеют статус составных задач. Между простыми задачами установлены связи, определяющие последовательность их выполнения (топологию сети), «оцифровка» которой показана в первом столбце.

В столбцы «Базовое начало» (даты), «Базовое время» (продолжительность в неделях) и «Базовый конец» (даты) вводятся исходные данные, определяющие запланированное расписание работ, то есть расписание, которое было ранее утверждено в установленном порядке для организации строительных работ по всему проекту. Это расписание до момента проведения мониторинга выполненных работ является неизменным и только после проведения мониторинга оно может быть переформировано в новое базовое расписание.

Откорректированное в дальнейшем расписание также не должно меняться до проведения следующего мониторинга. Базовое расписание дополнено столбцом «Базовые затраты», которые исчислены в миллионах рублей. При этом нами использованы следующие соглашения: данные по затратам представляются со знаком минус, а данные по доходам отображаются положительными величинами. Принятые соглашения дают возможность отразить не только строительные затраты, но и доход, получаемый от сдачи объекта и распределенный во времени.

Столбцы, аналогичные базовому расписанию, имеют названия «Начало», «Время», «Конец» и «Затраты» и отражают текущее состояние календарного плана. В отличие от базового плана текущее расписание может меняться, и это изменение использовано для статистического моделирования, на основании которого моделируется необходимое множество случайных календарных планов. При этом пессимистические оценки выполнения работ определяются на основании анализа объемов фактически выполненных работ, измерения которых осуществляется в процессе организации мониторинга.

В общем, мониторинговые измерения заносятся в диаграмму Ганта: в столбце «Дата замера» фиксируется момент измерения, а в столбец «Объем» проставляется процент выполнения объема работы конкретной задачи. Для не начатых работ в данные столбцы проставляются текстовое значение «НД» и численное значение «0» соответственно. Для законченных строительством работ в столбец «Дата замера» проставляется дата заактивированной приемки работы и численное значение «100» соответственно. Для начатых, но не законченных работ в столбец «Дата замера» проставляется дата проведения мониторинга и процент выполнения объема от 1 до 99.

На основании обработки данных по выполненным объемам работ, в первых трех строках столбца «Прогноз окончания строительства» выводятся расчетные результаты по усредненной дате мониторинга, по выполненному на эту дату суммарному объему работ и фактическому индексу несвоевременности, показывающему относительное увеличение длительностей работ.

Статистическое моделирование проводится на основании полученного индекса несвоевременного выполнения работ, при этом в расчетах случайных продолжительностей работ его значение используется как средняя величина, а ее пессимистическое значение увеличено на 100%, или в 2 раза. На основании данного соглашения и статистического моделирования в столбцах «Процент времени», «Базовый процент объема» и «Максимальный процент объема» представлены два графика зависимости относительного выполнения объема работ от относительного времени. Из этих графиков один показывает планируемое выполнение, а другой график показывает выполнение общего объема работ с учетом зафиксированной мониторингом несвоевременности.

Как было указано выше, индекс несвоевременности работ определяет среднее отклонение фактических продолжительностей работ от соответствующих плановых значений. Если это отклонение меньше 5%, то можно считать, что управление строительством осуществляется на оценку «отлично» и для базового календарного графика не требуется корректировка. По опыту можно считать, что все отклонения в пределах 5% могут быть связаны с погрешностями в планировании и измерении объемов работ. Поэтому для них может быть установлена своеобразная франшиза (фр. льгота) и для отличного управления проведение статистического моделирования не требуется. Если же отклонение находится в пределах от 5 до 25%, то можно считать, что управление строительством осуществляется на оценку «хорошо» и для базового календарного графика требуется корректировка, а процесс статистического моделирования осуществляется с помощью экспоненциального генератора случайных продолжительностей работ. Если же отклонение находится в пределах от 25 до 50%, то можно считать, что управление строительством осуществляется на оценку «удовлетворительно» и для базового календарного графика требуется корректировка, а процесс статистического моделирования осуществляется с помощью треугольного генератора случайных продолжительностей работ. Если же отклонение находится в пределах более 50%, то можно считать, что управление

строительством осуществляется на оценку «неудовлетворительно» и для базового календарного графика требуется корректировка, а процесс статистического моделирования осуществляется с помощью равномерного генератора случайных продолжительностей работ.

В таблице 5.3 представлены данные мониторинга и результаты прогноза состояния строительства градостроительного комплекса. В таблице 5.3 представлены 3 варианта мониторинга выполнения работ. Согласно 1-го варианта рассчитанный индекс несвоевременности равен 1,14 и это значение соответствует хорошему управлению. Для этой ситуации прогноз задержки сдачи градостроительного комплекса в эксплуатацию, определенный разными методами, составил от 14 до 18 недель. Среднее снижение чистого дисконтированного дохода 22,5 млн.руб., а штрафные санкции, рассчитанные по ФЗ №214, 30,5 млн.руб.

Таблица 5.3

Данные мониторинга и результаты расчета прогноза состояния строительства комплекса объектов по 3-м фактическим вариантам

Характеристики	Факт 1	Факт 2	Факт 3
Данные мониторинга			
Подготовка (здание №1)	100% (зад. 0 н.)	100% (зад. 0 н.)	100% (зад. 0 н.)
Подземка (здание №1)	100% (зад. 1 н.)	100% (зад. 2 н.)	100% (зад. 2 н.)
Надземка 1 (здание №1)	100% (зад. 0 н.)	100% (зад. 4 н.)	100% (зад. 4 н.)
Надземка 2 (здание №1)	50%(25.12.17)	0%	0%
Подготовка (здание №2)	100% (зад. 1 н.)	100% (зад. 2 н.)	100% (зад. 3 н.)
Подземка (здание №2)	100%(25.12.17)	30%(25.12.17)	5%(08.01.18)
Несвоевременность	1.14	1.48	1.51
Качество управления	хорошее	удовлетв.	неудовлетв.
Результаты прогноза			
Энтропийная задержка	17.5 н.	24.6 н.	23.1 н.
Линейная задержка	18 н.	50 н.	54 н.
Мин. нелинейной задержки	14 н.	46 н.	48 н.
Мак. нелинейной задержки	18 н.	69 н.	69 н.
Сред. снижения NPV	22.5 млн. руб.	71 млн. руб.	81 млн. руб.
Средний штраф	30.5 млн. руб.	98.5 млн. руб.	114 млн. руб.

Как видно из таблицы 5.3, при удовлетворительном и плохом управлении прогноз средней задержки сдачи градостроительного комплекса в эксплуатацию существенно возрос, а снижение чистого дисконтированного дохода увеличилось на 81 млн.руб., штрафные санкции также возросли до 114 124 млн.руб.

Из данных представленного и других экспериментов выявлена закономерность, заключающаяся в том, что энтропийный прогноз оценки меньше линейного. Это связано с тем, что расчет усредненной энтропии проводится как среднее логарифмическое отношений плановых скоростей к их актуальным значениям, взвешенным в соответствие со стоимостными объемами. Рассмотрим объяснение этой закономерности на следующем примере. Нулевое значение временной оси свяжем с началом строительства. За планируемое время окончания работы $-T_i^{plan}$, должен быть выполнен весь объем работ C_i , количественно определенный как $V=1$. Таким образом, средняя скорость освоения единичного объема будет равна $1/T_i^{plan}$. На момент проведения мониторинга, определяемого - T_i^{act} установлен объем выполнения V_i^{act} , который определяет скорость меньше планируемой. В результате произведение выполненного объема работы будет определяться выражением

$$S_i = \left(\frac{C_i}{Ln2} \right) Ln \frac{T_i^{act}}{V_i^{act} T_i^{plan}}. \quad (5.4)$$

При методе линейной экстраполяции выполненные объемы работ не дифференцируются, а просто складываются соответствующие стоимости.

5.1.4 Система прогнозных моделей в программе Microsoft Project.

Интерфейс программ управления проектами типа Microsoft Project разделен на два основных блока. Первый блок представляет собою электронную таблицу, второй блок – графическое отображение календарного плана, как правило, в форме диаграммы Ганта.

На рисунке 5.5 представлена электронная таблица, которая помимо ввода данных, описанных в п.5.1.3, позволяет выводить расчетные данные. При этом используемые алгоритмы расчетов могут

быть реализованы как стандартными средствами программы *Microsoft Project*, с помощью формул вставляемых в соответствующие столбцы и с помощью программ-макросов, написанных, например, на языке программирования *Visual Basic for Application*. Для расчета прогноза задержки строительства на основе энтропийного метода в столбцы интерфейсной электронной таблицы, показанной на рисунке 5.5, вводятся ниже следующие формулы. Нотация этих формул соответствует написанию, принятому в программах *Microsoft Project*. Для облегчения ввода формул в соответствующие столбцы, использована, единая для всех методов расчета, программа-макрос. Представим сами формулы и приложим к ним, там где необходимо, краткие комментарии.

Расчет чистого дисконтированного дохода осуществляется в столбце [Затраты1] по формуле: "[Базовые затраты]*(1+Val([Тема])/100)^((Начало проекта)-[Базовое окончание])/365)". В переменную [Тема], находящуюся в свойствах проекта, в обычном текстовом формате вводится норма дисконта.

Ввод формулы для расчета уменьшения чистого дисконтированного дохода осуществляется в столбце [Затраты2] осуществляется в соответствии с текстом: "[Базовые затраты]*((1+Val([Тема])/100)^((Начало проекта)-[Окончание])/365)-(1+Val([Тема])/100)^((Начало проекта)-[Базовое окончание])/365)".

Формула расчета пени по ФЗ№214 вводится в столбец [Затраты3]: "[Базовые затраты]*([Окончание]-[Базовое окончание])/3000". При этом расчет ведется исходя из ставки 10% годовых, которые при необходимости можно поменять на любое другое значение.

Ввод формулы расчета освоенного объема работ осуществляется в столбец [Затраты4]: "If([Число1]>1;[Базовые затраты]*[Число1]/-100;0)". При этом в столбце проставляется условие расчета, определяющее значения процента выполненных работ больше 1%.

Формула расчета равномерно распределенных случайных продолжительностей работ вводится в столбец [Длительность1]: "If([Базовые затраты]<0;[Базовая длительность]*(1+Val([Автор])/100*Rnd(1));[Базовая длительность])". Поскольку в качестве получения доходов от продажи зданий используются положительные значения, а для затрат используются отрицательные величины, то в формуле применен условный оператор. При этом в переменную [Автор], находящуюся в свойствах проекта, в режиме диалога вводится рассчитанный программой-макросом индекс несвоевременного выполнения работ.

Формула расчета треугольно убывающих случайных продолжительностей работ вводится в столбец [Длительность2]: "If([Базовые затраты]<0;[Базовая длительность]*(1+Val([Автор])/100*(1-Sqr(Rnd(1)))):[Базовая длительность])".

Формула расчета экспоненциально убывающих случайных продолжительностей работ вводится в столбец [Длительность3]: "If([Базовые затраты]<0;[Базовая длительность]*(1-Val([Автор])/400*(Log(Rnd(1)))):[Базовая длительность])". Таким образом, в эти три столбца вводятся генераторы случайных продолжительностей, соответствующие оценке качества управления.

Формула расчета длительности, прошедшей от начала строительства до даты мониторинга, вводится в столбец [Длительность4]: "If([Число1]>1;([Крайний срок]-[Начало проекта])*370.4;0)".

Формула расчета энтропийной задержки длительности проекта вводится в столбец [Длительность5]: "If([Число1]>1;[Длительность4]+([Базовая длительность]-[Длительность4])*Exp(Log(2)*[Число6])-[Базовая длительность];0)". Приведенная формула является итоговой формулой расчета прогноза задержки окончания строительства, использующая энтропийную оценку актуального графика строительства.

Формула расчета произведений освоенных объемов на их энтропии вводится в столбец [Число2]: "If([Число1]>1;[Затраты4]*Log((Крайний срок)-[Базовое начало])*37040/[Число1]/[Базовая длительность])/Log(2);0)".

Формула расчета средней энтропии вводится в столбец [Число6]: "If([Число1]>1;[Число2]/[Затраты4];0)".

В приложении А приведен полный текст программы-макроса с необходимыми комментариями, которые следуют после знака апострофа или служебного слова REM. Текст программы-макроса разбит на соответствующие разделы, которые представляют собой последовательно выполняемые блоки комплексного алгоритма расчета прогнозов задержки окончания строительства различными методами экстраполяции.

- ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ ФОРМУЛЫ И ОБЩИЕ РЕКВИЗИТЫ ПРОЕКТА
- ПЕРЕБОР ВСЕХ ЗАДАЧ ПРОЕКТА И ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОСТЫХ РАБОТ
- РАСЧЕТ БАЗОВОГО (ПЛАНОВОГО) ГРАФИКА РОСТА ОБЪЕМОВ РАБОТ

- РАСЧЕТ ФАКТИЧЕСКОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ОБЩЕГО ОБЪЕМА РАБОТ И СРЕДНЕЙ ДАТЫ ЕГО ИЗМЕРЕНИЯ
- РАСЧЕТ МАССИВА СЛУЧАЙНЫХ ГРАФИКОВ РОСТА ОБЪЕМОВ РАБОТ
- РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО ГРАФИКА РОСТА ОБЪЕМОВ РАБОТ по МАССИВУ ВАРИАНТов
- РАСЧЕТ ОПТИМИСТИЧЕСКОГО И ПЕССИМИСТИЧЕСКОГО ПРОГНОЗОВ И ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ. В данном блоке также реализована формула прогноза, основанная на простой линейной экстраполяции выполненного объема работ.
- ПЕРЕФОРМИРОВАНИЕ ЧАСТИЧНО ВЫПОЛНЕННОГО РАСПИСАНИЯ В НОВЫЙ ФАЙЛ newplan.mpp

5.2 Анализ чувствительности планируемых показателей строительства в программе *Project Expert*

5.2.1 Общее описание программы управления проектами *Project Expert*. Программа *Project Expert* (PE) предназначена для формирования денежных потоков (*cash flow*) по инвестиционной и операционной деятельности в рамках создания бизнес-плана инвестиционного проекта, функциональная структура разработки которого представлена на рисунке 5.6.

Основные результаты работы программы сводятся к следующим:

1. Программой определяется распределение денежных средств во времени, которое характеризует финансовую реализуемость ИСП.

2. Программой формируется балансовая ведомость, которая показывает насколько устойчиво финансовое положение (платежеспособность и ликвидность) предприятия, реализующего проект в конкретный момент времени; формируется отчет о прибылях и убытках, который определяет прибыльность предприятия, реализующего проект, и служит основанием для расчета ряда налогов.

3. Программой рассчитываются финансовые и показатели экономической эффективности инвестиционных проектов, включающие: срок окупаемости, чистый дисконтированный доход, внутреннюю норму доходности и др.

Базой, для получения данных результатов, является разработка следующих планов:

инвестиционного плана, определяющего капитальные затраты в проект.

Основой данного плана является календарный план работ по проекту, рассчитываемый по методу критического пути с указанием стоимостей работ и ресурсов;

плана производства, который определяет операционные издержки по выпуску продукции при реализации проекта;

плана сбыта, который определяет выручку от реализации продукции;

финансового плана, который определяет источники оплаты инвестиционных и операционных затрат.

Программой учитывается структура используемого капитала, включающая данные о собственном капитале, привлеченном капитале, средствах, размещенных на депозитах, распределении дивидендов. При формировании бизнес-плана инвестиционного проекта учитываются различные характеристики платежей и налоговых отчислений: обменные курсы используемых валют, задержки платежей, налоговые ставки, учетные ставки по кредитам, инфляция в целом и по отдельным группам товаров и услуг.

1. В программе может быть проведен анализ чувствительности ИСП в соответствии с возможными изменениями различных параметров проекта. Это дает основание для расчета характеристик различных рисков, связанных с реализацией проекта.

Блок календарного планирования ИСП в программе *Project Expert* ориентирован на сочетание инвестиционного и операционного периодов реализации ИСП. А аналогичный блок в программе *Microsoft Project* прежде всего ориентирован на планирование инвестиционной деятельности по реализации ИСП.

Функциональная структура формирования БИЗНЕС-ПЛАНА инвестиционного проекта

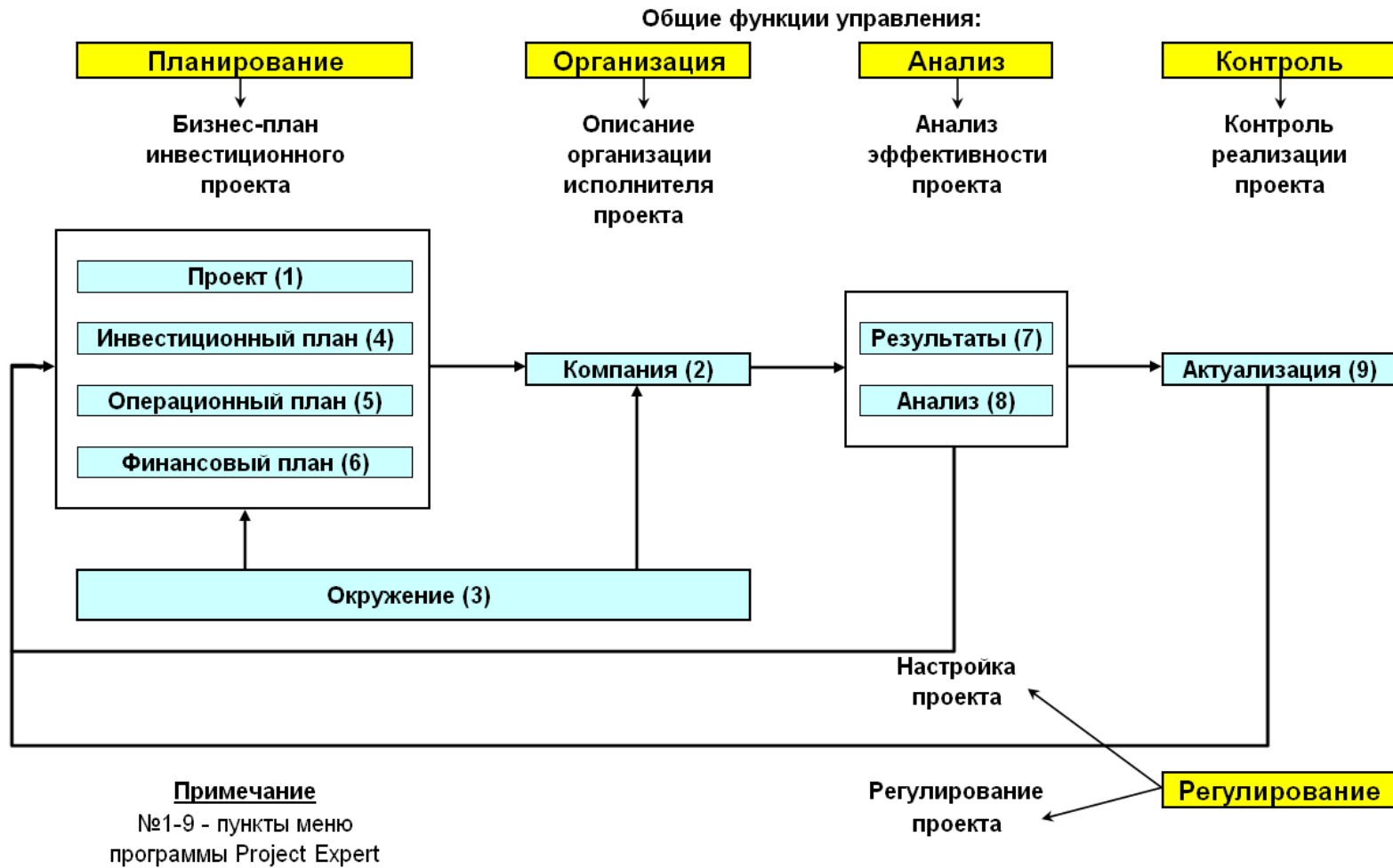


Рисунок 5.6. Блок-схема программы *Project Expert*

5.2.2 Анализ чувствительности технико-экономических показателей. Поставленная цель заключается в расчете оценки экономической эффективности поточной организации строительства на синтезе календарного планирования, ориентированного на применение разных методов расчета строительных потоков, при одновременном учете экономических факторов, характеризующих окружение строительного проекта. К наиболее значимым факторам, определяющим экономическую эффективность проекта, относятся доходы, получаемые от его реализации, и затраты, связанные с его созданием и функционированием, а также риски, возникающие в течение жизненного цикла строительного проекта, определяющие его чувствительность. Планируемая итоговая оценка эффективности проекта рассчитывается на стадии его подготовки к строительству, что позволяет в автоматизированном режиме выбрать наиболее эффективный вариант календарного плана строительства.

Необходимые алгоритмы расчета различных вариантов календарных планов строительства, формируемые по схеме индивидуально-поточной организации работ, должны быть рассмотрены нами ранее в предыдущем параграфе.

Формирование исходных данных, необходимых для оценки градостроительного комплекса предполагает последовательное выполнение следующих этапов.

Для описания экономической среды проекта необходимо детальное обоснование следующих экономических характеристик.

1. Обоснование принятой ставки дисконтирования, включающее ее безрисковую составляющую, темп инфляции и премию, связанную с инвестиционным риском осуществления проекта.
2. Обоснование затрат на строительство квадратного метра жилых зданий, можно определить исходя из нормативных цен строительства [134].
3. Обоснование стоимости продажи квадратного метра зданий, исходя из маркетинга цен для выбранного магистрантом региона строительства, который может быть осуществлен с помощью интернета.
4. Определение ставок налогов на прибыль и на добавленную стоимость, исходя из действующего законодательства.
5. Принятие объема собственного капитала, и процента по кредитам на покрытие инвестиционных затрат, исходя из маркетинга банковских услуг, который также может быть осуществлен с помощью интернета.
6. Обоснования диапазона вариации показателей окружающей экономической среды с целью проведения анализа чувствительности в программе управления проектами *Project Expert*.

Для каждого варианта поточной организации работ по комплексу объектов, в программе необходимо сформировать соответствующие варианты инвестиционных планов строительства и единый операционный план. Для основного критерия, определенного как чистый дисконтированный доход (*NPV*), и для наиболее эффективного варианта организации поточного строительства требуется провести анализ чувствительности в зависимости от изменения основных характеристик экономической окружающей среды. Представим краткий алгоритм разработки курсовой работы.

1. Для каждого варианта поточной организации работ, состоящего из комплекса зданий, в программе формируются соответствующие инвестиционные планы и единый операционный план с определенным ранее горизонтом планирования, используя при этом принятые выше характеристики экономического окружения строительства.
2. Далее разрабатывается схема финансирования проекта, осуществляемая как за счет собственного капитала застройщика так и за счет банковского кредитования.
3. После этого рассчитывается чистый дисконтированный доход *NPV* и другие критерии оценки эффективности проекта и по этим характеристикам определяется вариант наиболее эффективного расписания строительства градостроительного комплекса.
4. Поскольку отдельные параметры проекта могут варьироваться, то проводится анализ чувствительности чистого дисконтированного дохода в зависимости от изменения основных характеристик экономической окружающей среды.
5. В заключении анализа чувствительности формулируются общие выводы по строительству и эксплуатации комплекса зданий, основанные на полученных результатах рассчитанного календарного плана и его технико-экономического обоснования.

5.2.3 Пример формирования массива исходных данных в программе Project Expert.
Представленный ниже пример соответствует структуре интерфейса программы Project Expert.
Примечание. В представленном ниже примере подчеркнуты те опции, которые необходимо заполнить до проведения расчета.

ПРОЕКТ/Заголовок

Название: Экономическая эффективность потока

Вариант: Метод критического пути

Автор: Дадар А.-К.Х.

Дата начала: 01.01.2018

Длительность: 5 лет, 0 мес.

Комментарий: вносятся исходные данные задания, обоснование принятых характеристик и заключение.

ПРОЕКТ/Список продуктов

Включает Наименование объекта, Ед. изм., Дату начала продаж

Продажа квартир здания 10эт 3000 квм 01.01.2018

Продажа квартир здания 12эт 8000 квм 01.04.2019

Продажа квартир здания 16эт 10000 квм 01.01.2019

Продажа квартир здания 22эт 14000 квм 01.10.2020

Проект/Отображение данных/Масштаб

Показывать данные по кварталам до 2022 года включительно

Проект/Отображение данных/Итоговые таблицы

Не отображать пустые строки (в Кэш-фло)

Использовать разделитель 1000

Количество дробных знаков 0

Валюта итоговых таблиц: Рубли

Проект/Отображение данных/Таблица Кэш-фло

Не дисконтировать строки при отображении

Проект/Настройка расчета/Ставка дисконтирования

Рубли 20.00% Доллар 10.00%

Шаг дисконтирования: год

Примечание. Рекомендуется не использовать специальные ставки дисконтирования

Проект/Настройка расчета/Показатели эффективности

Не учитывать проценты по кредитам

Какая доля выплат финансируется за счет поступлений того же месяца: 100%

Период расчета и отображения показателей до: 60 мес. проекта

Окружение/Валюта

Основная: Рубли (Ед.изм. 1000)

Вторая: Доллар (Ед.изм. 1000)

Курс на момент начала проекта: 1тыс. \$ = 60 тыс. руб.

Темпы изменения курса: 0%

Окружение/Инфляция

Использовать для всех объектов и не использовать месячные значения

Для рублей и долларов и для всех объектов принимаем 0%

Окружение/Налоги

Налог на прибыль: 20%, налогооблагаемая база "Прибыль", периодичность выплат "Квартал", изменения ставки "Нет".

Налог на добавленную стоимость: 20%, налогооблагаемая база "Объем продаж", периодичность выплат "Квартал", изменения ставки "Нет".

Инвестиционный план/Календарный план

Примечание. Формируется аналогично построению в программе Microsoft Project.

Операционный план/План сбыта

Наименование	Цена (тыс. руб.)
Продажа квартир 10эт 3000квм	45.000
Продажа квартир 12эт 8000квм	48.000
Продажа квартир 16эт 10000квм	52.000
Продажа квартир 22эт 14000квм	50.000
Указать объем продаж (квм) по периодам	

Операционный план/Общие издержки/Управление

ТСЖ (собственник, включающий, оплачиваемых работников председателя, секретаря и бухгалтера) определено затратами 300 тыс. руб. ежемесячно в течение всего проекта.

Управляющая компания (это подрядчик по эксплуатации) 3600 тыс. руб., начиная с 13месяца и до конца проекта.

Финансирование/Акционерный капитал

ОАО "Стройтрест" разовой выплатой (01.01.2015) вносит 250 млн. руб. в проект

Финансирование/Займы

Для финансирования проекта 01.10.2018 получен Кредит №1 объемом 140 млн. руб. по ставке 15% годовых с ежеквартальной и равномерной выплатой процентов, с учетом полного погашения долга через 12 месяцев.

Для дальнейшего финансирования проекта с 01.10.2019 получен Кредит №2 объемом 150 млн. руб. по ставке 15% годовых с ежеквартальной и равномерной выплатой процентов, с учетом погашения долга через 24 месяца.

Примечание. Анализ итогового денежного потока показывает, что параметры кредитного договора можно корректировать так, чтобы исключить отрицательные и большие положительные значения.

5.2.4 Особенности реализации анализа чувствительности оценочных показателей в программе Project Expert. Одной из задач анализа любого инвестиционного строительного проекта является определение чувствительности показателей его эффективности к изменениям различных параметров. Чем шире диапазон параметров, в котором показатели эффективности остаются в пределах приемлемых значений, тем выше «запас прочности» проекта, и тем лучше он защищен от колебаний различных факторов, оказывающих влияние на результаты реализации проекта. В программе *Project Expert* исследование чувствительности проекта к возможным изменениям параметров выполняется в режиме диалога. Пример результата анализа чувствительности чистого дисконтированного дохода в функции от цены продажи квадратного метра жилья показан на рисунке 5.

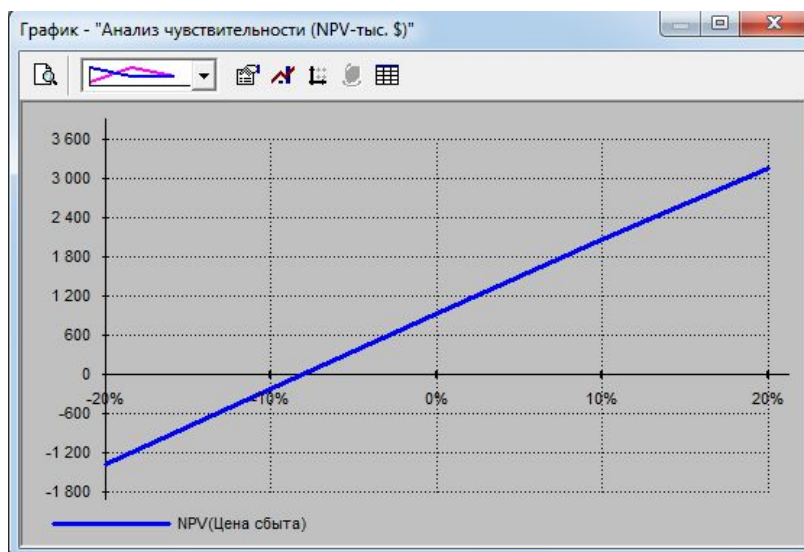


Рисунок 5.7. Результат анализа чувствительности NPV от относительного изменения цены продажи

На графике рисунка 5.7 показана линейная зависимость абсолютного значения чистого дисконтированного дохода от относительного изменения цены продажи квадратного метра жилья. Для принятой цены продажи (отклонение 0%) значение $NPV=900$ тыс.\$. Если же цена продажи упадет на 8%, то NPV уменьшится до нулевого значения, а дальнейшее относительное уменьшение цены продажи сделает данный проект экономически убыточным. Форма, с помощью которой организован режим диалога в программе *Project Expert*, представлена на рисунке 5.8.

	-20%	-10%	0%	10%	20%
► Цена сбыта	-1 385.22	-236.47	912.29	2 061.04	3 149.73

Рисунок 5.8. Форма диалога при анализе чувствительности проекта

С левой стороны в верхней части диалоговой формы представлен список параметров, которые можно использовать в анализе чувствительности в качестве независимых переменных. С правой стороны, вверху, содержится список показателей, чувствительность которых может быть исследована. Окно в нижней части диалога предназначается для формирования итоговой таблицы с результатами анализа, которая заполняется в результате расчета.

Исследование чувствительности показателей эффективности к изменению ставки дисконтирования позволяет определить устойчивость проекта по отношению к колебаниям конъюнктуры финансового рынка и возможным изменениям макроэкономических условий деятельности. При этом анализ чувствительности, связанный с вариацией нормы дисконта, проводится отдельно с помощью соответствующего переключателя в положение «Вариации дисконта». После этого, в итоговой таблице, в нижней части диалога, появляется строка «Дисконт».

Далее, после выбора варьируемого параметра следует задать значение шага расчетов. Это делается с помощью группы полей «Интервал изменения». Здесь указывается начальная и конечная величина дисконта, а также его приращение при выполнении расчетов. В результате установки этих параметров в итоговой таблице появляются столбцы, количество которых соответствует числу шагов расчета.

Нажатием кнопки «Пересчитать» запускается процедура расчета, в процессе выполнения которой итоговая таблица заполняется значениями показателей эффективности, вычисленными для каждой из величин дисконта в выбранном диапазоне. Наглядное отображение зависимости показателя от ставки дисконтирования можно получить, нажав на кнопку «График». При этом в открывшемся окне просмотра можно воспользоваться разнообразными функциями настройки и печати графика.

Вариации выбранных параметров. Для проведения анализа чувствительности проекта к изменениям определенных параметров необходимо установить переключатель в верхней части диалога в положение «Вариации выбранных параметров». После этого становится доступным расположенный под ним список параметров. Выбранный параметр следует выделить в списке и нажать кнопку «Добавить». Таким образом, формируется набор строк итоговой таблицы, представленной на рисунке 5.8.

Выводы по 5 главе

1. В программе управления проектами реализованы методы прогноза задержки строительства, основанные на различных способах экстраполяции выполненных объемов работ. При этом использованы инструментальные средства программы *Microsoft Project*, позволяющие реализовывать расчеты, как в пользовательских столбцах, так и с помощью использования программ-макросов.
2. Используя программу управления проектами Project Expert, разработаны методические основы анализа чувствительности показателей инвестиционного строительного проекта градостроительного комплекса, определяемые изменениями различных параметров, которые влияют на его реализацию. При этом к основным параметрам относится как использование различных вариантов календарных графиков строительства, так и учет вариации реального экономического окружения проекта.

Заключение

В качестве заключения по представленному исследованию предлагаются следующие выводы.

1. Установлено, что различные методы календарного планирования ориентированы на определенную информационную обеспеченность и если это не соблюдается, то данное состояние можно охарактеризовать как информационная недостаточность. Наличие информационной неполноты приводит к погрешности применяемой системы календарного планирования, что в свою очередь приводит к возникновению риска несвоевременного выполнения как отдельных работ, так и строительства в целом. Поэтому для более эффективного противодействия объективного присутствия информационной неполноты требуется разработка новых и совершенствование существующих методов календарного планирования.

2. Установлено, что существующие современные модели прогнозирования продолжительности строительства не в полной мере ориентированы на актуальную оценку хода строительства. Например, индексный метод, прежде всего, направлен на цветовую сигнализацию ситуаций, связанных уже с возникшей несвоевременностью выполненных работ. Логика метода критической цепи ориентирована не на измерение прогноза по несвоевременности, а на его предотвращение. Метод предсказания продолжительности строительства, основанный на модели «о гибели и размножении» не может обеспечить необходимую информационную полноту, и, следовательно, его использование в ходе оперативного управления строительством несостоятельно.

3. Установлено, что проанализированные модели прогнозирования продолжительности строительства существенным образом опираются на использование экспертных оценок, которые в силу своей субъективности имеют погрешности, количественный анализ которых просто игнорируется. Поэтому показана возможность расчета погрешностей в экспертных оценках на основе адаптации метода стохастической квалиметрии и представлен практический пример ее использования в календарном планировании очередности объектов при формировании программы капитального ремонта жилых зданий.

4. Установлена неустойчивость структуры строительного потока и невозможность планируемого отображения всех возможных вариантов топологии строительства с помощью метода построения альтернативных сетей. Определено, что наиболее применимым в практике вероятностного календарного планирования является использование бета распределения, которое только в ограниченной форме может учитывать качество управления.

5. Для более совершенного учета качества управления предложено использовать экспоненциальное, треугольное и равномерное распределения случайных продолжительностей работ и тогда, в частности, для совершенствования метода критической цепи, даны конструктивные рекомендации, заключающиеся в количественной дифференциации рекомендаций по определению форсированных продолжительностей работ, зависящих от предполагаемого качества управления работами.

6. Разработаны теоретические основы метода пространственно-временной аналогии, позволяющего на основе нормы дисконта, используемой в расчетах экономической эффективности, определить горизонт планирования и пессимистические продолжительности расписания строительных работ.

7. Установлено, что методы прогнозирования, основанные на принципах регрессионного анализа не в состоянии учесть возможную нелинейность прогноза от объемов выполненных работ, что приводит к неадекватной интерпретации погрешности прогноза окончания строительства. Метод прогнозирования, основанный на принципе нейросетевого моделирования, позволяет учесть возможную нелинейность прогноза от объемов выполненных работ, но физическая интерпретация весовых параметров не поддается логическому анализу, в силу чего также возникает неадекватная интерпретация погрешности прогноза окончания строительства.

8. Разработана модель оценки прогноза продолжительности строительства, основанная на использовании феноменологического подхода, связанного с определением энтропии актуального графика строительства, что дает наиболее адекватный прогноз выполнения строительства на основе минимальной информации по актуальным объемам выполненных работ.

9. Разработаны модели расчета прогноза окончания строительства, основанные на нелинейной экстраполяции выполненных объемов работ, а включение в их состав статистического моделирования позволяет определять минимальную и максимальную границы прогноза.

10. В программе управления проектами *Microsoft Project* реализованы методы прогноза задержки строительства, основанные на различных способах экстраполяции выполненных объемов

работ. Используя программу управления проектами Project Expert, разработаны методические основы анализа чувствительности показателей инвестиционного строительного проекта градостроительного комплекса, определяемые изменениями различных параметров, которые влияют на его реализацию.

Список литературы

1. Танаев В.С., Гордон В.С., Шафранский Я.М. Теория расписаний. Одностадийные системы. -М.: Наука, 1984. -384 с.
2. Танаев В.С., Сотсков Ю.Н., Струевич В.А. Теория расписаний. Многостадийные системы. -М.: Наука, 1989. -328 с.
3. Коффман А., Дебазей Г. Сетевые методы планирования. Применение системы "PERT" и ее разновидностей при управлении производственным и научно-техническим проектом: Пер. с франц. М.: Прогресс, 1968 – 181 с.
4. Седых Ю.И., Лазебник В.М. Организационно-технологическая надежность жилищно-гражданского строительства. – М.: Стройиздат, 1989. – 396 с.
5. Афанасьев В.А. Поточная организация строительства. Л.: Стройиздат, 1990. - 302с.
6. Олейник П.П. Организация индустриального строительства объектов. – М.: Стройиздат, 1990.
7. Воропаев В.И. Управление проектами в России. М.: Аланс, 1995. - 225с.
8. Рыбальский В.И. Системный анализ и управление в строительстве М.: Стройиздат, 1981. - 190с.
9. Афанасьев В.А. Связи между работами и методы организации работ//Организация, планирование и управление строительством. -Л.: ЛИСИ, 1981, с.9-15.
10. Юдин Д. Б., Юдин А. Д. Математики измеряют сложность. - М.: Знание, 1985. - 192 с.
11. Волькенштейн М.В. Энтропия и информация. - М.: Наука, 1986. - 191 с.
12. Рунион Р. Справочник по непараметрической статистике, М.: Финансы и статистика, 1982. 199 с.
13. Нормативы продолжительности строительства: утверждены приказом министерства регионального развития Российской Федерации от 21.12.2010 г., № 746.
14. СНиП 1.04.03-85* «Нормы продолжительности строительства и задела в строительстве предприятий, зданий и сооружений». Официальное переиздание с изменениями на 1 июля 1990 г.
15. Куперштейн В.И. Microsoft Project 2010 в управлении проектами. М.: ООО «ЛитРес», 2010. 506 с.
16. Болотин С.А. Управление проектом. СПб.: СПбГАСУ, 2000. 96 с.
17. Олейникова С.А. Модификация метода PERT решения задач сетевого планирования и управления. Системы управления и информационные технологии, №4 (34), 2008. сс. 42-45.
18. Олейникова С.А. Критический анализ метода PERT решения задачи управления проектами со случайной длительностью выполнения работ. Системы управления и информационные технологии, том 51, №1, 2013. сс. 20-24.
19. Голенко-Гинзбург Д.И. Стохастические сетевые модели планирования и управления разработками. Воронеж: «Научная книга», 2010. с.284.
20. Комов В.М., Коротков А.А. Определение вероятности состояний системы строительного производства. Вестник гражданских инженеров, №3(50), 2015. с. 140-147.
21. Лич Л. Вовремя и в рамках бюджета. Управление проектами по методу критической цепи. Альпина Паблишер, 2010. – 354 с.
22. Гусаков А.А. Организационно-технологическая надежность строительного производства в условиях автоматизированных систем проектирования. М.: Стройиздат, 1973. -312 с.
23. Louzolo-Kimbembe, P., Mbani, E., 2013. New approach of delay penalties formulation: Application to the case construction projects in the Republic of Congo. Journal of Civil Engineering and Construction Technology, 4(1): 6-22.
24. Sadi, A., Sadiq, A., 2006. Causes of delay in large construction projects. Journal Project Management, 24(4): 349-357.
25. Q. Duan, T. Warren Liao Improved ant colony optimization algorithms for determining project critical paths Automation in construction, v.19, № 6, 2010/ pp. 676-693.
26. Gumusoglu S., Tutek H. An analysis method in project management using primal-dual relationships. International journal of project management, V: 16, № 5, 1998. pp. 321-327.
27. Руководство по разработке и применению вероятностных сетевых моделей в строительстве. –М.: ЦНИПИАСС, 1977, с.56.
28. Morozova T. F., Kinayat L. A., Kinayat A. Zh. Assessment of risks in construction. Internet Journal "Construction of Unique Buildings and Structures", 2013, №5 (10).
29. Дикман Л.Г., Дикман Д.Л. Организация строительства в США. М.: АСВ, 2004. 377 с.

30. Котовская М.А. Развитие календарного планирования поточного строительства на основе метода критической цепи и статистического моделирования. Дисс. К.т.н., СПб.: СПбГАСУ, 2015.
31. Гладий Н.Я., Болотин С.А., Вихров А.Н. Анализ скорости выполнения СМР как оптимизационного параметра календарного плана строительства. В кн.: «Качество. Инновации. Наука. Образование». Омск, СибАДИ, 2005.
32. Производительность труда «белых воротничков». М.: Прогресс, 1989. 247 с.
33. Малкин М.М. Оптимизация графиков движения рабочих в календарных планах методом вариации ресурсных профилей. Автореферат дисс. на соиск. степ. к.т.н., С.-Петербург, СПбГАСУ, 2010.
34. Болотин С.А., Климов С.Э. Комплексная оценка риска отклонения цены и срока сдачи строительного объекта в эксплуатацию. Мир строительства и недвижимости, №3, 2004. сс.2-3
35. Болотин С.А., Дадар А.Х., Оолакай З.Х.З. Возможности использования ресурсных профилей в организационно-технологическом проектировании. Международный научно-исследовательский журнал, 2013, №12-1(19). с.77-79.
36. МДС 12-46.2008 Методические рекомендации по разработке и оформлению проекта организации строительства, проекта организации работ по сносу (демонтажу), проекта производства работ. – введ. 2009.01.01. – М: ЦНИИОМТП, 2009. – 38с.
37. МДС 12-43.2008 Нормирование продолжительности строительства зданий и сооружений. – введ. 2008.01.01. – М: ЦНИИОМТП, 2008. – 36с.
38. Чередниченко Н. Д. Методы управления проектами при организационно-технологическом моделировании строительного производства: дис. на соиск. учен. степ. канд. техн. наук : 05.23.08 : защищена 05.06.2014: / Чередниченко Надежда Дмитриевна. – Ростов на Дону, 2014. – 148 с. – Библиогр.: с. 130-147.
39. Соколов Г. К. Технология и организация строительства : учебник для студ. проф. Образования / Г. К. Соколов. – 6-е изд., стер. – М. : Издательский центр «Академия», 2008. – 528 с.
40. Климов С. Э. Особенности формирования и оптимизации календарных планов строительного производства в условиях крайнего севера / С. Э. Климов, А. И. Кычкин // Наука и образование. – 2005. – №1. – С. 57-60.
41. Величкин В.З. Управление и надежность реализации строительных программ. ИСЖ №7, 2014. сс. 74-79.
42. Котовская М.А., Болотин С.А. Анализ европейских и российской нормативных баз трудовых затрат применительно к календарному планированию строительства // Вестник гражданских инженеров. 2013. №2 (37). С. 98-103.
43. Фадеева Н.С., Золотухин С.Л. Экономически обоснованная стоимость как основа договорных отношений и фактор модернизации строительства // Экономика строительства. 2012. №1 (13). С. 16-31.
44. Сайфуллина Ф.М. Оптимизация механизма ценообразования в системе инновационного развития инвестиционно-строительного комплекса // Современные технологии управления. 2011. №9 (09). URL: <http://www.sovman.ru/all-numbers/archive-2011/sepember2011/item/32-optimization-of-the-pricing-mechanism-in-the-system.html> (дата обращения: 09.09.2014).
45. Электронное управление строительством, или корпоративная система управления проектами в строительстве. Социальном бюллетене № 9 на стр. 13 (электронный ресурс as.gov.ru/publications/) (Статья для конференции по приказу № 100, секция 3.19. организация строительства)
46. Методические рекомендации по оценке эффективности инвестиционных проектов (Вторая редакция) / М-во экон. РФ, М-во фин. РФ, ГК архит. И жил. политике. М.: Экономика, 2000. - 421с.
47. www.setlcity.ru
48. <http://193.218.143.153:3407/labanaliz/Report/Devation?id=1036>
49. Пфанцгаль И. Теория измерений. М.: Мир, 1976. 248 с.
50. Берка К. Измерения: понятия, теории, проблемы. М.: Прогресс, 1987. 320 с.
51. Свод правил «Информационное моделирование в строительстве. Правила организации работ производственно-техническими отделами». НИУ МГСУ, 2017 (проект).
52. Исполнительная документация в строительстве. Справочное пособие. Санкт-Петербург, «ЦЕНТР КАЧЕСТВА СТРОИТЕЛЬСТВА», 2008. <http://www.nastol.ru/Go/ViewArticle?id=4258>
53. Kanyukova S., Vatin N., Leybman D., Sazonova T. Dynamic control method of design terms in underground constration/ Procedia Engineering 165 (2016) 1918-1924.

54. Bovteev S., Kanyukova S., Okrepilov V., Rezvaia A. Construction work tasks duration: method of estimation and quality control. *Journal of Applied Engineering Science*, 14 (20016) 1, 362.
55. Bovteev S., Kanyukova S. Development of methodology for time management of construction projects. *Инженерно-строительный журнал*, №2 (62), 2016. С.101-112.
56. Голдратт, Э.М., Кокс, Д. Цель: Процесс непрерывного совершенствования / Элияху М. Голдратт, Джефф Кокс; пер. с англ. Е. Федурко. – Минск: Попурри, 2014. – 400 с.
57. Детмер, У. Теория ограничений Голдратта: Системный подход к непрерывному совершенствованию / Уильям Детмер; пер. с англ. У.Саламатова. – 2-е изд. – М.: Альпина Бизнес Букс, 2008. – 444 с.
58. Голдратт, Э. М. Критическая цепь / Элияху М. Голдратт; пер. с англ. Е.Федурко. – Минск: Попурри, 2013. – 240 с.
59. Речкалов, В. Управление проектами по методу Критической цепи [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.tocpeople.com/2012/10/kriticheskaya-cep/> (дата обращения 02.11.2015).
60. Stelth, P., Le Roy, G. Projects' Analysis through CPM (Critical Path Method) / Peter Stelth (MSc), Professor Guy Le Roy (PhD) // *School of Doctoral Studies (European Union) Journal*. July, 2009. №1. Pp.10-51
61. Колмогоров А.Н. Теория вероятностей и математическая статистика. – М.: Наука, 1986. – 560 с.
62. Отчет о научно-исследовательской работе. Исследование и разработка эффективных организационных и технологических решений при возведении уникальных зданий и сооружений. СПб.: СПбГАСУ, 2016.
63. Завадкас Э.К. Комплексная оценка и выбор ресурсосберегающих решений в строительстве. Вильнюс: Мокслас, 1987. -210 с.
64. Болотин С.А. Универсальная эмпирическая методика взвешивания показателей в организационном проектировании СМР.// *Известия вузов. Строительство и архитектура*, 1991, № 4. - с. 65-70.
65. Дэвид Г. Метод парных сравнений. М.: Статистика, 1978. -144 с.
66. Куликовский Л.Ф., Мотов В.В. Теоретические основы информационных процессов. М.: Высшая школа, 1987. -248 с.
67. Селиванов М.Н, Фридман А.Э., Кудряшова Ж.Ф. Качество измерений. Л.: Лениздат, 1987. -296 с.
68. Architect Risto Suikari, M.Sc.Eng. Jarkko Salovaara. Learning from resident feedback. Wooden urban villages. Helsinki: Rakennustieto, 2009. p. 43-55.
69. Болотин С.А. Определение погрешности квалиметрической оценки весов аддитивных показателей качества календарных планов строительства.// *Известия вузов. Строительство*, 2010, № 2.
70. Болотин С.А., Дадар А.Х., Лемешко Д.С. Квалиметрическая оценка потенциала недвижимости в системах сервейинга и девелопмента.// В кн. Сервейинг и профессиональный девелопмент недвижимости: аспекты экономики, организации и управления в строительстве: монография. Пенза: РИО ПГСХА, 2010. С. 64–85.
71. Баркалов С.А., Голенко-Гинзбург Д.И., Набиуллин И.Ф., Сидоренко Е.А. Решение задач перспективного планирования и прогнозирования при случайных оценках продолжительности операций. *Вестник Воронежского государственного технического университета*, 2010. — Т. 6, № 3. — С. 38–42.
72. Зырянов А.А. Методика вероятностного прогнозирования состояния организационно-технологических систем при помощи формализмов GERT-сетей. Диссертация к.т.н., Красноярск 2013.
73. Шибанов А. П., Нахождение плотности распределения времени исполнения GERT-сети на основе эквивалентных упрощающих преобразований, *Автомат.и телемех.*, 2003, выпуск 2, 117–126.
74. Корячко В.П., Шибанов А.П., Шибанов В.А. Численный метод нахождения закона распределения выходной величины GERT-сети // *Информ. технологии*. 2001. №7. С. 16–21.
75. Лопатников Л.И. Краткий экономико-математический словарь. М.: Наука, 1979. - 358 с.
76. Томаев Б.М. Надежность строительного потока. М.: Стройиздат, 1983.-129 с.
77. Harris, R. B.; Ioannou, P. G. 1998. Scheduling projects with repeating activities, *Journal of Construction Engineering and Management*.
78. Болотин С.А., Кучанов Ю.П. Рационализация методов расчета потоков с непрерывным использованием ресурсов и формы их представления в виде календарных графиков. В кн.: Организация, планирование и управление строительством. Л.: ЛИСИ, 1983. - с. 29-35.

79. Клименюк Н.Н. Автоматизированные системы управления предприятиями сборного железобетона. Киев: Вища школа, 1984.-216 с.
80. Олейник П.П. Организация индустриального строительства объектов.- М.:Стройиздат, 1990.-270 с.
81. Дрейпер Н.,Смит Г.Прикладной регрессионный анализ. Кн.1-М.: Финансы и статистика, 1986.-366 с.
82. Bolotin S., Birjukov A. Time Management in Drafting Probability Schedules for Construction Work // World Applied Sciences Journal 23 (Problems of Architecture and Construction): 01–04, 2013.
83. Gore P.S. Rationale of Contracts Awards and Contract Systems// Proceedings of the ASCE. Journal of the Construction Division. 1980. Vol. 106, N C04. Pp. 507–517.
84. Механизмы управления: Учебное пособие/ Под редакцией Д.А.Новикова. М.: ЛЕНАНД, 2011. -192 с.
85. Chanas S., Zielinski P., Critical Path Analysis in the Network with Fuzzy Activity Times, Fuzzy Sets and Systems 122, 2001, p. 195 – 204.
86. Premachandra I.M., An approximation of the activity duration distribution in PERT. Computers & Operations Research. Vol. 28, Issue 5, April 2001, p. 443-452.
87. Куклюгина Л.А., Куклюгин А.В., Харисов А.Р. Исследование существующих методов определения продолжительности строительства промышленных объектов. Известия КАГАСУ, 2012, №1 (19). СС. 134-139.
88. Лисичкин В.А., Ковальский М.И. Организация управления строительством в капиталистических странах. – М.: Стройиздат, 1987. – 293 с.
89. Шестакова И.Г. Анализ современных тенденций научно-технического прогресса и горизонты планирования. Экономика и экологический менеджмент. 2013, №1. СС. 67-82.
90. Кудряшова Е.В. Понятие «горизонт планирования» в финансовом праве. Финансовое право. 2013, №4. СС. 5-8.
91. Cheng F. Lee, Jozeph E. Finnerty. Corporate finance: theory, method and applications. Harcourt Brace Jovanovich, Publisher, San Diego, New York, Chicago, Austin, Washington, 2000. – XVIII, 686 p.
92. Coplend Tom, Koller Tim, Murrin Jack. Valuation measuring and managing the value of companies. McKinsey & Company, Inc. New York, Chichester, Brisbane, Toronto, Singapore, 2000. – 576 p.
93. Кулешов Д.А., Стрельников Г.Е. инженерная геодезия для строителей: Учебник для вузов. –М.: Недра, 1990. – 256 с.: ил.
94. Bolotin S., Dadar A., Ptušina I. Construction work task duration: Pessimistic scenarios based on PERT method. Advanced Materials Research Vols. 945-949 (2014) pp 3026-3031.
95. Bolotin S., Dadar A., M.Rogalska, Z. Hejducki. Harmonogramowanieprzebiegówbudowlanych z uwzględnieniemmodeluczasowoprzestrzennego. PRzegląd budowlany 11/2014. P. 24-28.
96. Rogalska M. Wieloczynnikowe modele w prognozowaniu czasu procesów budowlanych. Politechnika Lubelska, Lublin 2016. 154 p.
97. Stevenson S., A comparison of the Forecasting ability of ARIMA models, “Journal of Property Investment & Finance”, vol. 25, issue 3, 2007.
98. McGough T., Tsolacos S., Forecasting office rental values using vector autoregressive models, Cutting Edge, 1994, p. 284-297.
99. Box G.E.P., Muller M.E., Jenkins G.M., Time series Analysis Forecasting and Control, Holden Day, San Francisco, 1976.
100. Птухина И.С. Распределение ответственности контрагентов организации строительства на основе проектного планирования договорных обязательств и их исполнения. Дисс. К.т.н., СПбГАСУ, СПб. 2012.
101. Boussabaine A.H. The use of artificial neural networks in construction management, Construction management and Economics, 1996.
102. Попова О.Н. Методика календарного планирования жилых зданий на основе структурного анализа. Дисс. К.т.н., СПбГАСУ, СПб., 2014.
103. Каллан Р. Основные концепции нейронных сетей: пер. с англ. М.: ИД «Вильямс», 2001.
104. Королев О. Л. Применение энтропии при моделировании процессов принятия решений в экономике. Монография / О. Л. Королев, М. Ю. Кусый, А. В. Сигал / Под ред. доц. А. В. Сигала. – Симферополь: Издательство «ОДЖАКЪ», 2013, – 148 стр.
105. A. Gorodetski, Yu. Ilyashenko. Minimal and strange attractors, International Journal of Bifurcation and Chaos, vol. 6, no. 6 (1996), pp. 1177—1183.

106. Глущенко В. В., Глущенко П. В. Моделирование управляющих информационных сложных сетевых систем и иерархичность моделей распознавания ситуаций и состояний в них. / Управление экономическими системами: электронный научный журнал, 2011. № 10. URL: <http://www.uecs.ru>
107. Постановление Правительства РФ от 16 февраля 2008 г. №87 «О составе разделов проектной документации и требованиях к их содержанию».
108. Постановление Правительства РФ от 5 марта 2007 года N 145 «О порядке организации и проведения государственной экспертизы проектной документации и результатов инженерных изысканий».
109. СП 48.13330.2011 «СВОД ПРАВИЛ по ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА».
110. Deshmukh K.C., Khot P.G., Nikhil. Generalized Measures of Fuzzy Entropy and their Properties// Word Academy of Science, Engineering and Technology, v. 80, 2011. Н. 93-106.
111. Манасян Н.С., Чернов В.Г. Нечеткая энтропия как критерий отбора инновационных проектов. Современные наукоемкие технологии. Региональное приложение №1 (33) 2013. с. 49 – 53.
112. Сухорукова О.А., Гонюкова Е.В. Исследование региональной экономической системы с применением показателя энтропии. Регион: системы, экономика, управление, № 2(9), 2010. С. 38-48.
113. Shannon C. E. A Mathematical Theory of Communication / C. E. Shannon // Bell System Technical Journal. – 1948. – V. 27. – No. 3. – No. 4.
114. Бовтеев С.В. и др. Управление инвестиционными строительными проектами на основе PRIMAVERA. М. – СПб.: «СПбГАСУ – ПМСОФТ», 2008. – 456 с.
115. Hejducki Z., Rogalska M. Time coupling methods Construction scheduling and time/cost optimization. Oficyna Wydawnicza Politechniki Wroclawskiej, Wroclaw, 2011. 100 p.
116. Болотин С.А., Дадар А.-К.Х. Параметризация пессимистических продолжительностей работ и горизонта планирования на основе нормы дисконта Параметризация пессимистических продолжительностей работ и горизонта планирования на основе нормы дисконта. ВГИ, № 2, 2016. С. ??????
117. Марчукайтис С.В. Измерение трудоемкости проектирования и управления строительством. М.: Стройиздат, 1983. -250 с.
118. Романова К.Г., Жарковская Е.П., Исаева Г.Л., Лукманова И.Г., Романова С.С. Нормирование труда и сметы. – М.: Стойиздат, 1989. -304 с.
119. Организация и управление в строительстве. Основные понятия и термины. – М. – СПб.: АСВ, 1998. -316 с.
120. Болотин С.А., Дадар А.Х., Магамадов Р.А. Энтропия актуального графика строительства. СПб.: Вестник гражданских инженеров, №3, 2016. сс. 123-129.
121. МДС 81-33.2004 Методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве, осуществляемом в районах крайнего севера.
122. МДС 81-34.2004 Методические указания по определению величины накладных расходов в строительстве и местностях, приравненных к ним.
123. Об участии в долевом строительстве многоквартирных домов и иных объектов недвижимости и о внесении изменений в некоторые законодательные акты Российской Федерации [Электронный ресурс]: федеральный закон.
124. https://studopedia.su/10_43068_fenomenologicheskij-podhod.html (доступ 06.02.2018)
125. Сокольников В.В. Оперативное управление строительными процессами и их ресурсным обеспечением в строительном-монтажном предприятии. Вестник гражданских инженеров, 2017, №1 , СС. 147-152.
126. Сокольников В.В., Порхачева И.В. Авторское свидетельство №2002611268 на компьютерную программу «CHIEF_BUILDER» автоматизация управления строительным предприятием.
127. Орлов А.И. Организационно-экономическое моделирование. Часть 2. Экспертные оценки. Учебник. М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2011.
128. Болотин С.А., Дадар А.Х., Магамадов Р.А., Мальсагов А.Р. Особенности организации мониторинга в процессе оперативного управления строительством. Вестник гражданских инженеров, 2017, № 4(63). СС. 146-152.
129. Болотин С.А., Дадар А.Х., Оолакай З.Х., Чебокинова Г.С. Методика детализации «новых» норм продолжительности строительства на основе статистики СНиП 1.04.03-85//Изв. вуз. Строительство, № 5, 2013. СС. 41-47.

130. Болотин С.А., Вихров А.Н. Организация строительного производства: Учебное пособие/ - М.: Издательский центр «Академия», 2007. -208 с.
131. Александрова В.Ф. Совершенствование календарного планирования застройки градостроительных комплексов в составе проекта организации строительства//Диссертация .к.т.н., Л.:ЛИСИ,1989.-24 с.
132. Болотин С.А. и др. Рекомендации по планированию и организации жилищно-гражданского строительства при застройке городов градостроительными комплексами. М.: Стройиздат, 1988. - 125 с.
133. Е.А.Шепелева, А.Л.Шепелев Организация производственных объектов комплектно-блочным методом. Монография. Архангельск: ИЦП САФУ, 2013. 40 с.
134. Укрупненные нормативы цены строительства. НЦС 81-02-2014, М.; 2014.

Приложение А. Программа-макрос расчета прогноза окончания строительства методом линейной регрессии и нейросетевого моделирования

Option Explicit

Rem Объявление переменных

Public Const PA3 = 30 'число обучающих данных

Public Const LIMIT = 60000 'предел всех итераций

Public Const СКОРОСТb = 0.1 'скорость вычислений от 0.05 до 0.2

Dim O6Y_MAC(1 To PA3, 1 To 5) As Single 'ОБУчающий МАССив данных

Dim HOP_MAC(1 To PA3, 1 To 5) As Single 'НОРмализованный МАССив данных

Dim BEC2(1 To 4) As Single '4 веса 2-го слоя (выходного) нейрона

Dim OUT2, ERR2 As Single 'общий выход 2-го слоя нейросети и ошибка общего выхода

Dim BEC1(1 To 4, 1 To 4) As Single 'веса 4-х нейронов и 4-х входов нейронов 1-го слоя

Dim OUT1(1 To 4), ERR1(1 To 4) As Single 'выходы 4-х нейронов 1-го слоя и ошибки выходов

Dim MIN1, MIN2, MIN3, MIN4, MIN5 As Single 'МИНимумы обучающих данных

Dim MAX1, MAX2, MAX3, MAX4, MAX5 As Single 'МАХимумы обучающих данных

Dim OUT(1 To PA3), EOUT(1 To PA3) As Single 'массив абсолютных выходов и абсолютные ошибки

Dim CYMMA, DLT As Single 'исп. для СУММирования и расчета ДЕЛьты

Dim N, N1, N2, N3, N4, N5 As Integer 'N номера данных [1,PA3] и числа в классах

Dim ADPEC As String 'для определения координат ячейки

Dim A, B, C, D, F, G, H, I, J, K, L, M As Integer 'целые числа

Dim P, Q, R, S, T, U, X, Z As Single 'вещественные числа

Dim ОКНО, СТРОКА As String 'строковые переменные

Sub НейроПрогнозРегресс()

Rem Формирование и нормирование обучающего массива

For I = 1 To PA3 'формирование O6Y_MAC после пересчета

Calculate 'пересчет потока

Range("SS\$17").Select: P = ActiveCell.Value: O6Y_MAC(I, 1) = P '1-й вход

Range("ST\$17").Select: Q = ActiveCell.Value: O6Y_MAC(I, 2) = Q '2-й вход

Range("SU\$17").Select: R = ActiveCell.Value: O6Y_MAC(I, 3) = R '3-й вход

Range("SV\$17").Select: S = ActiveCell.Value: O6Y_MAC(I, 4) = S '4-й вход

Range("SW\$17").Select: T = ActiveCell.Value: O6Y_MAC(I, 5) = T 'общий выход

If I < 31 Then 'визуализация первых 30 результатов

ADPEC = "\$Y\$" + Format(14 + I, "##")

Range(ADPEC).Select: ActiveCell.FormulaR1C1 = P '1-й вход

ADPEC = "\$Z\$" + Format(14 + I, "##")

Range(ADPEC).Select: ActiveCell.FormulaR1C1 = Q '2-й вход

ADPEC = "\$AA\$" + Format(14 + I, "##")

Range(ADPEC).Select: ActiveCell.FormulaR1C1 = R '3-й вход

ADPEC = "\$AB\$" + Format(14 + I, "##")

Range(ADPEC).Select: ActiveCell.FormulaR1C1 = S '4-й вход

ADPEC = "\$AC\$" + Format(14 + I, "##")

Range(ADPEC).Select: ActiveCell.FormulaR1C1 = T 'общий выход

End If

Next I

Rem ищем МИНимальные и МАКсимальные значения данных

MIN1 = 1000: MIN2 = 1000: MIN3 = 1000: MIN4 = 1000: MIN5 = 1000

MAX1 = 0: MAX2 = 0: MAX3 = 0: MAX4 = 0: MAX5 = 0 'начальные значения

For I = 1 To PA3 'ищем МИНимумы и МАКсимумы

If O6Y_MAC(I, 1) < MIN1 Then MIN1 = O6Y_MAC(I, 1) '1-й вход

If O6Y_MAC(I, 2) < MIN2 Then MIN2 = O6Y_MAC(I, 2) '2-й вход

If O6Y_MAC(I, 3) < MIN3 Then MIN3 = O6Y_MAC(I, 3) '3-й вход

If O6Y_MAC(I, 4) < MIN4 Then MIN4 = O6Y_MAC(I, 4) '4-й вход

If O6Y_MAC(I, 5) < MIN5 Then MIN5 = O6Y_MAC(I, 5) 'общий выход

If O6Y_MAC(I, 1) > MAX1 Then MAX1 = O6Y_MAC(I, 1) '1-й вход

If O6Y_MAC(I, 2) > MAX2 Then MAX2 = O6Y_MAC(I, 2) '2-й вход

```

If O6Y_MAC(I, 3) > MAX3 Then MAX3 = O6Y_MAC(I, 3) '3-й вход
If O6Y_MAC(I, 4) > MAX4 Then MAX4 = O6Y_MAC(I, 4) '4-й вход
If O6Y_MAC(I, 5) > MAX5 Then MAX5 = O6Y_MAC(I, 5) 'общий выход
Next I
Rem НОРмализуем ОБучающий МАСсив и исправляем вырожденность данных
For I = 1 To PA3
  If MAX1 > MIN1 Then '
    HOP_MAC(I, 1) = (O6Y_MAC(I, 1) - MIN1) / (MAX1 - MIN1)
  Else
    HOP_MAC(I, 1) = 0
  End If
  If MAX2 > MIN2 Then '
    HOP_MAC(I, 2) = (O6Y_MAC(I, 2) - MIN2) / (MAX2 - MIN2)
  Else
    HOP_MAC(I, 2) = 0
  End If
  If MAX3 > MIN3 Then '
    HOP_MAC(I, 3) = (O6Y_MAC(I, 3) - MIN3) / (MAX3 - MIN3)
  Else
    HOP_MAC(I, 3) = 0
  End If
  If MAX4 > MIN4 Then '
    HOP_MAC(I, 4) = (O6Y_MAC(I, 4) - MIN4) / (MAX4 - MIN4)
  Else
    HOP_MAC(I, 4) = 0
  End If 'далее идет нормализация времени задержки окончания
  HOP_MAC(I, 5) = (O6Y_MAC(I, 5) - MIN5) / (MAX5 - MIN5)
Next I
Rem инициализация начальных весов нейросети случайными числами
For I = 1 To 4 'перебор 4-х входов нейронов 2-го и 1-го слоев
  BEC2(I) = 0.5 - Rnd 'случайные веса от -0.5 до +0.5 для 2 слоя
  For J = 1 To 4 'перебор 4-х нейронов в 1-ом слое
    BEC1(I, J) = 0.5 - Rnd 'случайные веса от -0.5 до +0.5
  Next J
Next I

K = 0 'счетчик итераций
ВОЗВРАТ:
K = K + 1: N = K Mod PA3 'K меняется от 1 до LIMIT, а N от 1 до PA3
If N = 0 Then N = PA3 'исправляем нулевое значение на число PA3

Rem Прямой расчет выходов всех нейронов по ранее рассчитанным весам
For J = 1 To 4 'перебор J-х нейронов 1-го слоя
  СУММА = 0 'начальная СУММА J-го нейрона
  For I = 1 To 4 'перебор I-х входов для J-го нейрона 1-го слоя
    СУММА = СУММА + BEC1(I, J) * HOP_MAC(N, I) 'СУММЫ для нейронов 1-го слоя
  Next I
  OUT1(J) = 1 / (1 + Exp(-СУММА)) 'выход J-го нейрона 1-го слоя
Next J
СУММА = 0 'начальная СУММА входов нейрона 2-го слоя
For J = 1 To 4 'перебор 4-х входов нейрона 2-го слоя
  СУММА = СУММА + BEC2(J) * OUT1(J) 'СУММА для 2-го слоя
Next J
OUT2 = 1 / (1 + Exp(-СУММА)) 'это общий выход всей нейросети

Rem Алгоритм обратного распространения ошибки и корректировка весов
ERR2 = HOP_MAC(N, 5) - OUT2 'ошибка выхода для нейрона 2-го слоя

```

```

For I = 1 To 4 'перебор входов и коррекция весов нейрона 2-го слоя
    BEC2(I) = BEC2(I) + OUT1(I) * OUT2 * (1 - OUT2) * СКОРОСТЬ * ERR2
Next I
For J = 1 To 4 'ошибки выходов нейронов 1-го слоя
    ERR1(1) = BEC2(1) * ERR2 'пропорциональны весам 2-го слоя
Next J
For J = 1 To 4 'КОРрекция BECов всех J нейронов 1-го слоя
    For I = 1 To 4
        BEC1(I, J) = BEC1(I, J) + HOP_MAC(N, I) * OUT1(J) * (1 - OUT1(J)) * СКОРОСТЬ * ERR1(J)
    Next I
Next J

```

If K < LIMIT Then GoTo ВОЗВРАТ 'если не достигнут LIMIT, то переход на ВОЗВРАТ:

```

Rem Расчет и визуализация всех выходов обучающего массива
For N = 1 To PA3
    Rem Прямой расчет выходов всех нейронов по рассчитанным ранее весам
    For J = 1 To 4 'перебор J-х нейронов 1-го слоя
        СУММА = 0 'начальная СУММА J-го нейрона
        For I = 1 To 4 'перебор I-х входов для J-го нейрона 1-го слоя
            СУММА = СУММА + BEC1(I, J) * HOP_MAC(N, I) 'СУММЫ для нейронов 1-го слоя
        Next I
        OUT1(J) = 1 / (1 + Exp(-СУММА)) 'выход J-го нейрона 1-го слоя
    Next J
    СУММА = 0 'начальная СУММА входов нейрона 3-го слоя
    For J = 1 To 4 'перебор 4-х входов для 1-го нейрона 3-го слоя
        СУММА = СУММА + BEC2(J) * OUT1(J) 'СУМММА для 2-го слоя
    Next J
    OUT2 = 1 / (1 + Exp(-СУММА)) 'это общий выход всей нейросети
    OUT(N) = MIN5 + OUT2 * (MAX5 - MIN5) 'денормализация общего выхода
    EOUT(N) = O6Y_MAC(N, 5) - OUT(N) 'абсолютные ошибки выходов
    If N < 31 Then 'визуализация первых 30 значений выходов
        ADPEC = "$AD$" + Format(14 + N, "##")
        Range(ADPEC).Select: ActiveCell.FormulaR1C1 = OUT(N) 'визуализация
    End If
Next N

```

```

Rem визуализация рассчитанных весов
For J = 1 To 4 'перебор нейронов 1-го слоя
    For I = 1 To 4 'перебор входов
        ADPEC = "$E$" + Format(17 + 4 * J + I, "##")
        Range(ADPEC).Select: ActiveCell.FormulaR1C1 = BEC1(I, J) '
    Next I
Next J
For I = 1 To 4 'перебор входов нейрона 2-го слоя
    ADPEC = "$K$" + Format(33 + I, "##")
    Range(ADPEC).Select: ActiveCell.FormulaR1C1 = BEC2(I) '
Next I
X = 0: Z = 0 'распределение ошибки по квартилям
For I = 1 To PA3
    If EOUT(I) < X Then X = EOUT(I)
    If EOUT(I) > Z Then Z = EOUT(I)
Next I
DLT = (Z - X) / 8 'ширина квартиля с учетом знака
N1 = 0: N2 = 0: N3 = 0: N4 = 0 'разбиение на квартили
For N = 1 To PA3
    If Abs(EOUT(N)) >= 0 And Abs(EOUT(N)) < DLT Then

```

```

    N1 = N1 + 1
    ElseIf Abs(EOUT(N)) >= DLT And Abs(EOUT(N)) < 2 * DLT Then
        N2 = N2 + 1
    ElseIf Abs(EOUT(N)) >= 2 * DLT And Abs(EOUT(N)) < 3 * DLT Then
        N3 = N3 + 1
    Else
        N4 = N4 + 1
    End If
Next N
Range("$P$47").Select: ActiveCell.FormulaR1C1 = N1 / PA3
Range("$Q$47").Select: ActiveCell.FormulaR1C1 = N2 / PA3
Range("$R$47").Select: ActiveCell.FormulaR1C1 = N3 / PA3
Range("$S$47").Select: ActiveCell.FormulaR1C1 = N4 / PA3
Calculate 'пересчет потока
F = 3
End Sub

```

Подготовительный период			Поземная часть			Надземная часть			Отделка															
0	5	5	→	5	12	17	→	17	36	53	→	53	12	65	КП (календарный план) 1-го здания, нед.			План1=	1.00	расчет T по множественной линейной регрессии абсолютные отклонения по линейной регрессии				
0	7.2	7.2		7.2	16.8	24.0		24.0	42.8	66.8		66.8	15.2	82.0	АГ (актуальный график) 1-го здания, нед.			Факт1=	1.00					
↓			Подготовительный период			Поземная часть			Надземная часть			Отделка												
КП 2-го здания			44	5	49	→	49	4	53	→	53	32	85	→	85	8	93	поток МНОФ			План2=	1.00		
АГ 2-го здания			44	5.5	49.5		49.5	5.3	54.8		66.8	44.5	111.3		111.3	10.1	121.4				Факт2=	0.67		
↓			Подготовительный период			Поземная часть			Надземная часть			Отделка												
План3=	0.56		КП 3-го здания			73	4	77	→	77	8	85	→	85	24	109	→	109	12		121			
Факт3=	0.26		АГ 3-го здания			73	5.6	78.6		78.6	10.5	89.1		111.3	32.8	144.1		144.1	12.0		156.1			
↓			Подготовительный период			Поземная часть			Надземная часть			Отделка												
План4=	0.00		КП 4-го здания			100	4	104	→	104	5	109	→	109	28	137		137	8		145			
Факт4=	0.00		АГ 4-го здания			100	4.0	104.0		104.0	5.0	109.0		144.1	28.0	172.1		172.1	8.0		180.1			
			ТЭП монолитных жилых зданий из СНиП 1.04.03-85*												Неделя актуализации строительства			100						
			Индексы зданий			1	2	3	4	Σ	Индексы зданий			1	2	3	4	Σ/4						
			Этажность, эт.			16	10	16	10	13	Инд. несвоевременности			1.5	1.5	1.5	1.5	1.50	1					
			Площадь, тыс. квм			18	13	6	11	48				Vx1	Vx2	Vx3	Vx4	ΔT	2					
			Расчетно-нормативная продолжительность, мес.			16	12	12	11	33.5	Текущие значения входов			1.00	0.67	0.46	0.00	35.1	3					
			Расчетно-нормативная продолжительность, нед.			65	49	48	45	145	Усреднение Y в выборки:			1.00	0.76	0.52	0.00	25.67	4					
			Параметры нейросети после расчета									Усреднение R регрессии			25.91			5						

Приложение Б. Программа-макрос расчета прогноза окончания строительства методами экстраполяции

' Макрос РедукцияОбъема

' Макрос начат 02.04.17 пользователем sbolotin.

Option Explicit 'описание констант и переменных

'значения используемых констант

Public Const РАЗМЕР = 100 'устанавливает число статистических испытаний

'описание типов содержательно именованных массивов

Dim ТЕМА, АВТОР, ОКНО, СТРОКА, ТЕКСТ As String 'строковые переменные

Dim ДАНО(1 To 120, 0 To 5) As Single 'основной массив обработки ДАНных

'0-строка составной задачи, 1-строка простой задачи, 2- ее относительная стоимость,

'3-базовая продолжительность, 4-базовое начало в неделях, 5- базовый конец в неделях

Dim МИНИМАХ(1 To 2, 0 To 20) As Single 'РЕЗультат нарастающего выполнения объемов работ

'1-я строка для МИНИмального (базового) графика, 2-я строка для МАКСИмального графика

Dim ВАРИАНТ(0 To РАЗМЕР, 0 To 21) As Single 'статистическая выборка ВАРИантов

'0-уменьшение NPV, от 1 до 20 объемы, 21-пеня, строки от 1 до РАЗ -это ВАРИанты

Dim СЧЕТ(0 To 21) As Integer 'СЧЕТчик ВАРИАНТов, которые больше базового

Dim РЕЗУЛТАТ(0 To 11, 0 To 21) As Single 'статистическая выборка РЕЗУЛТАТов

'0-это среднее значение выборки, 11-это стандартное отклонение

'описание типов содержательно именованных переменных

Dim V_ACT, V_MIN, V_MAX As Single 'объемы: АКТуальный (измеренный), МИНИмальный (плановый), МАКСИмальный (стат)

Dim T_ACT, T_MIN, T_MID, T_MAX As Single 'окончания: АКТуальное (среднее), МИНИмальный прогноз, МАКСИмальный прогноз

Dim D_ACT, D_MIN, D_MID, D_MAX As Date 'даты событий: АКТуальная (средняя), МИНИмального прогноза, МАКСИмального прогноза

Dim АКТ_ОТН, К_MIN, К_MAX, К_MID As Single 'АКТуальное ОТНосительное время, индексы МИНИмальной и МАКСИмальной несвоевременности

Dim N_РАБОТ, СТО, НАЧ, КОН, ОБЪЕМ, МАКС_СРОК As Single 'СТОимость, НАЧало, КОНец, ОБЪЕМ, МАКСим СРОК окончания простой работы

Dim D_СТАРТ, D_КОНЕЦ, D_НАЧ, D_КОН As Date 'СТАРТ, базовый финиш, НАЧало и КОНец в функции DateDiff()

Dim О6_СТО, TPL, NPV, NPW, N214, DUR As Single 'О6_СТО-общая стоимость, TPL-базовая продолжительность,

'NPV-базовый дисконтированный доход, NPW-уменьшение дисконтированного дохода, DUR-продолжительность,

'N214- это пеня по закону ФЗ№214

Dim MAX, MIN, MAX_N, MIN_N, MAX_P, MIN_P As Single 'максимумы и минимумы

'описание типов однобуквенных переменных

Dim A, B, C, D, E, F, G, H, I, J, K, M, N, KeyОТВЕТ, КА4ЕСТВО As Integer 'целые от А до N

Dim L As Long 'длинное целое

Dim P, Q, R, U, V, W, X, Y, Z As Single 'одинарной точности

Sub ЭкстраПрогноз() 'начало программы

'ПОЛЬЗОВАТЕЛЬСКИЕ ФОРМУЛЫ И ОБЩИЕ РЕКВИЗИТЫ ПРОЕКТА

'Ввод формул и их реквизитов в пользовательские столбцы "Затраты1,2 и 3"

'ввод формулы расчета чистого дисконтированного дохода NPV

ТЕКСТ = "[Базовые затраты]*(1+Val([Тема])/100)^((([Начало проекта]-[Базовое окончание])/365))"

CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskCost1, Formula:=ТЕКСТ 'расчет чистого дисконтированного дохода в столбце "Затраты1"

CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskCost1, Attribute:=pjFieldAttributeFormula, SummaryCalc:=pjCalcRollupSum, GraphicalIndicators:=False, Required:=False
 'ввод формулы расчета уменьшения чистого дисконтированного дохода NPW
 ТЕКСТ = "[Базовые затраты]*((1+Val([Тема])/100)^((([Начало проекта]-[Окончание])/365)-(1+Val([Тема])/100)^((([Начало проекта]-[Базовое окончание])/365)))"
 CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskCost2, Formula:=ТЕКСТ 'расчет уменьшения чистого дисконтированного дохода в столбце "Затраты2"
 CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskCost2, Attribute:=pjFieldAttributeFormula, SummaryCalc:=pjCalcRollupSum, GraphicalIndicators:=False, Required:=False
 'формула расчета пени по ФЗ№214 суммарные задачи определяют отдельные объекты и для них расчет проводится по данной формуле (остальные строки не актуальны!)
 ТЕКСТ = "[Базовые затраты]*([Окончание]-[Базовое окончание])/3000" 'Расчет ведется исходя из ставки 10% годовых в столбце "Затраты3", при этом
 CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskCost3, Formula:=ТЕКСТ
 CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskCost3, Attribute:=pjFieldAttributeFormula, SummaryCalc:=pjCalcFormula, GraphicalIndicators:=False, Required:=False
 'ввод формулы расчета освоенного объема работ
 ТЕКСТ = "If([Число1]>1;[Базовые затраты]*[Число1]/-100;0)"
 CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskCost4, Formula:=ТЕКСТ 'расчет чистого дисконтированного дохода в столбце "Затраты1"
 CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskCost4, Attribute:=pjFieldAttributeFormula, SummaryCalc:=pjCalcRollupSum, GraphicalIndicators:=False, Required:=False
 'формула расчета равномерно распределенных случайных продолжительностей работ в столбце "Длительность1"
 ТЕКСТ = "If([Базовые затраты]<0;[Базовая длительность]*(1+Val([Автор])/100*Rnd(1));[Базовая длительность])"
 CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskDuration1, Formula:=ТЕКСТ
 CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskDuration1, Attribute:=pjFieldAttributeFormula, SummaryCalc:=pjCalcNone, GraphicalIndicators:=False, Required:=False
 'формула расчета треугольно убывающих случайных продолжительностей работ в столбце "Длительность2"
 ТЕКСТ = "If([Базовые затраты]<0;[Базовая длительность]*(1+Val([Автор])/100*(1-Sqr(Rnd(1)))));[Базовая длительность])"
 CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskDuration2, Formula:=ТЕКСТ
 CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskDuration2, Attribute:=pjFieldAttributeFormula, SummaryCalc:=pjCalcNone, GraphicalIndicators:=False, Required:=False
 'формула расчета экспоненциально убывающих случайных продолжительностей работ в столбце "Длительность3"
 ТЕКСТ = "If([Базовые затраты]<0;[Базовая длительность]*(1-Val([Автор])/400*(Log(Rnd(1)))));[Базовая длительность])"
 CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskDuration3, Formula:=ТЕКСТ
 CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskDuration3, Attribute:=pjFieldAttributeFormula, SummaryCalc:=pjCalcNone, GraphicalIndicators:=False, Required:=False
 'формула расчета длительности прошедшей до мониторинга в столбце "Длительность4"
 ТЕКСТ = "If([Число1]>1;([Крайний срок]-[Начало проекта])*370.4;0)"
 CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskDuration4, Formula:=ТЕКСТ
 CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskDuration4, Attribute:=pjFieldAttributeFormula, SummaryCalc:=pjCalcRollupMax, GraphicalIndicators:=False, Required:=False
 'формула расчета энтропийной задержки длительности проекта в столбце "Длительность5"
 ТЕКСТ = "If([Число1]>1;[Длительность4]+([Базовая длительность]-[Длительность4])*Exp(Log(2)*[Число6]-[Базовая длительность]);0)"
 CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskDuration5, Formula:=ТЕКСТ
 CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskDuration5, Attribute:=pjFieldAttributeFormula, SummaryCalc:=pjCalcFormula, GraphicalIndicators:=False, Required:=False
 'формула расчета произведений Освоенных Объемов на их Энтропии в столбце "Число2"
 ТЕКСТ = "If([Число1]>1;[Затраты4]*Log(([Крайний срок]-[Базовое начало])/[Число1])/[Базовая длительность])/Log(2);0)"

CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskNumber2, Formula:=ТЕКСТ
CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskNumber2, Attribute:=pjFieldAttributeFormula,
SummaryCalc:=pjCalcRollupSum, GraphicalIndicators:=False, Required:=False
'формула расчета средней Энтропии в столбце "Число6"
ТЕКСТ = "If([Число1]>1;[Число2]/[Затраты4];0)"
CustomFieldSetFormula FieldID:=pjCustomTaskNumber6, Formula:=ТЕКСТ
CustomFieldProperties FieldID:=pjCustomTaskNumber6, Attribute:=pjFieldAttributeFormula,
SummaryCalc:=pjCalcFormula, GraphicalIndicators:=False, Required:=False

'общие реквизиты проекта

ТЕМА = ActiveProject.Subject 'норма дисконта Е в переменной свойств проекта меню <Файл>
АВТОР = ActiveProject.Author 'максимальный процент увеличение несвоевременности работ
в свойствах проекта меню <Файл>

SelectRow Row:=0, RowRelative:=False 'переход на нулевую строку ПРОЕКТА

NPV = Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskCost1)) 'базовое (плановое) NPV

NPW = Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskCost2)) 'текущее уменьшение базового
значения NPV

D_СТАРТ = DateValue(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskBaselineStart)) 'дата СТАРТа
строительства

SelectRow Row:=1, RowRelative:=False 'переход на 1-ю (первую) строку ПРОЕКТА

TPL = Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskBaselineDuration)) 'базовая
продолжительность

D_КОНЕС = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskBaselineFinish) 'базовая дата
окончания строительства

О6_СТО = Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskBaselineCost)) 'ОБщая_СТОимость
строительства

'ПЕРЕБОР ВСЕХ ЗАДАЧ ПРОЕКТА И ВЫЯВЛЕНИЕ ПРОСТЫХ РАБОТ

I = 1: J = 0 'индекс начальной строки проекта и начальное число простых работ

ВОЗВРАТ:

СТРОКА = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskSummary) 'определение Суммарности
предыдущей задачи

I = I + 1 'счетчик строк диаграммы Ганта

SelectRow Row:=I, RowRelative:=False 'абсолютный переход на I-ую строку

ТЕКСТ = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskName) 'в ТЕКСТ определяем имя работы

If ТЕКСТ = "Конец строительства" Then 'если встретился ТЕКСТ "Конец строительства", то

N_РАБОТ = J: GoTo КОНЕС 'сохраняем число простых работ и переходим на метку Конец
End If

ТЕКСТ = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskSummary) 'задача простая или составная

If ТЕКСТ = "Нет" Then 'если задача простая, то

J = J + 1 'включаем счетчик простых задач

If СТРОКА = "Да" Then ДАНО(J, 0) = I - 1 Else ДАНО(J, 0) = 0 'предыдущая задача была
составной и фиксируем ее номер

ДАНО(J, 1) = I 'далее вводим номер строки расположения простой задачи

ДАНО(J, 2) = Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskBaselineCost)) / О6_СТО 'относит.
стоимость (от 0 до 1)

ДАНО(J, 3) = Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskBaselineDuration)) 'абсолютная
продолжительность в неделях

D_НА4 = DateValue(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskBaselineStart)) 'дата НАЧала
типа текста "07.02.2019"

D_КОН = DateValue(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskBaselineFinish)) 'дата КОНца
типа текста "14.03.2019"

ДАНО(J, 4) = DateDiff("d", D_СТАРТ, D_НА4) / 7 'время до НАЧала и КОНца работы в
неделях от начала проекта Д_СТАРТ

ДАНО(J, 5) = DateDiff("d", D_СТАРТ, D_КОН) / 7 'равно времени указанном в календарных
днях "d" и деленным на 7

End If

GoTo ВОЗВРАТ

'РАСЧЕТ БАЗОВОГО (ПЛАНОВОГО) ГРАФИКА РОСТА ОБЪЕМОВ РАБОТ

КОНЕС:

For K = 0 To 19 'обнуление массива МИНИ_МАКСов роста относительных объемов работ (от 0 до 1)

MINIMAX(1, K) = 0: MINIMAX(2, K) = 0 'объемы исчисляются в шкале от 0 до 20

Next K

MINIMAX(1, 20) = 1: MINIMAX(2, 20) = 1 'в последнем столбце выполнение работ всегда равно 1 (или 100%)

For J = 1 To N_РАБОТ 'перебираем все простые работы

НА4 = ДАНО(J, 4) / TPL 'относительное НАЧало J-ой простой работы от 0 до 1

КОН = ДАНО(J, 5) / TPL 'относительный КОНец J-ой простой работы от 0 до 1

СТО = ДАНО(J, 2) 'относительная стоимость J-ой простой работы от 0 до 1

For K = 1 To 19 'перебор всех точек с относительным интервалом времени 0.05

If НА4 > (K * 0.05) Then 'то это значит, что работа еще не НАЧата и тогда

MINIMAX(1, K) = MINIMAX(1, K) 'СУМмарный объем работы не меняется

ElseIf КОН < (K * 0.05) Then 'то это значит, что работа уже заКОНчена и к СУМмарному

MINIMAX(1, K) = MINIMAX(1, K) + СТО 'объему добавляется СТОимость этой работы

Else 'то это значит, что к СУМмарному объему нужно добавить только часть ее объема

MINIMAX(1, K) = MINIMAX(1, K) + СТО * (K * 0.05 - НА4) / (КОН - НА4)

End If

Next K

Next J

'РАСЧЕТ ФАКТИЧЕСКОГО ВЫПОЛНЕНИЯ ОБЩЕГО ОБЪЕМА РАБОТ И СРЕДНЕЙ ДАТЫ ЕГО ИЗМЕРЕНИЯ

V = 0: W = 0: X = 0: МАКС_СРОК = 0 'начальные значения объема, стоимости и конца измерения

For J = 1 To N_РАБОТ 'перебор всех простых текущих задач

L = ДАНО(J, 1) 'расчет номера строки расположения J-ой простой задачи

SelectRow Row:=L, RowRelative:=False 'переходим на строку L, содержащую J-ую простую задачу

СТО = ДАНО(J, 2) 'относительная стоимость J-ой простой работы

О6bЕМ = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskNumber1) 'определяем объем выполнения в %

ТЕКСТ = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskDeadline) 'дата замера объема работы "Крайний срок"

If ТЕКСТ = "НД" And О6bЕМ > 0 Then 'если введен выполненный ОБЪЕМ, но нет ДАТЫ, тогда ОКНО

ОКНО = "Вами указан выполненный ОБЪЕМ" + Chr(13)

ОКНО = ОКНО + "и не указана ДАТА его выполнения." + Chr(13)

ОКНО = ОКНО + "Введите нужную ДАТУ и" + Chr(13)

ОКНО = ОКНО + "снова запустите программу." + Chr(13)

ОКНО = ОКНО + "Закройте это окно нажатием на ОК." + Chr(13)

KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly) 'закрыть окно

GoTo СОВСЕМ_КОНЕС 'и выход на САМЫЙ КОНЕЦ программы

End If

If ТЕКСТ <> "НД" And О6bЕМ < 0 And О6bЕМ > 100 Then 'наличие ДАТЫ, но неправильная величина ОБЪЕМа

ОКНО = "Вами указан не правильный ОБЪЕМ" + Chr(13)

ОКНО = ОКНО + "Введите значение от 0 до 100 и" + Chr(13)

ОКНО = ОКНО + "снова запустите программу." + Chr(13)

ОКНО = ОКНО + "Закройте это окно нажатием на ОК." + Chr(13)

KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly) 'закрыть окно

GoTo СОВСЕМ_КОНЕС 'и выход на САМЫЙ КОНЕЦ программы

End If

```

If ТЕКСТ <> "НД" Then
    D_КОН = DateValue(ТЕКСТ) 'значит дата и ОБЪЕМ были введены правильно
    КОН = DateDiff("d", D_СТАРТ, D_КОН) 'определяем время замера от начала проекта в
днях
    If КОН > МАКС_СРОК Then МАКС_СРОК = КОН 'максимальный срок, определяющий
ДАТУ мониторинга
    If О6бЕМ > 0 And КОН > 0 Then 'расчет проводится только для начатых и выполненных
работ
        V = V + О6бЕМ * СТО 'суммирование произведений ОБЪЕМА на СТОимость
        W = W + КОН * СТО 'суммирование произведений КОНцов на СТОимость
        X = X + СТО 'суммирование СТОимостей выполненных и начатых работ
    End If
End If
Next J
V_ACT = Int(10 * V) / 10 'АКТуальный усредненный объем выполнения в процентах с 1-м
знаком после запятой
SelectRow Row:=1, RowRelative:=False 'визуализация АКТуального (выполненного) объема
работ
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=Str(V_ACT) + " %" 'величина представлена в %
T_ACT = МАКС_СРОК 'усредненное расстояние от начала строительства до даты
мониторинга в днях
D_ACT = DateAdd("d", T_ACT, D_СТАРТ) 'усредненная дата мониторинга
SelectRow Row:=3, RowRelative:=False
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=D_ACT 'визуализация усредненной даты замера
выполненного объема работ
ACT_ОТН = 20 * (T_ACT / (TPL * 7)) 'относительное время мониторинга в шкале от 0 до 20
X = Int(ACT_ОТН) 'определение нижней границы в шкале от 0 до 20
Y = Int(ACT_ОТН + 1) 'определение верхней границы в шкале от 0 до 20
U = 100 * (MINIMAX(1, X) + (ACT_ОТН - X) * ((MINIMAX(1, Y) - MINIMAX(1, X)))) 'должно быть
выполнено по МИНимуму
K_MIN = Int(100 * U / V_ACT + 0.5) / 100 'расчет индекса МИНимальной несвоевременности с
2-мя знаками после запятой
SelectRow Row:=5, RowRelative:=False
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=Str(K_MIN) 'визуализация среднего индекса
несвоевременности по отношению к плану
ТЕКСТ = Str(200 * (K_MIN - 1)) 'перевод индекса несвоевременности как процента
превышения базовой продолжительности
СТРОКА = Str(Val(АВТОР)) 'введенная в форму "Свойства проекта" величина превышения
несвоевременности работ
If СТРОКА <> ТЕКСТ Then 'проверка равенства расчетной и введенной несвоевременностей
и если они не равны, то
    ОКНО = "После появления данного диалогового окна, Вы" + Chr(13)
    ОКНО = ОКНО + "должны переустановить максимальную несвоевременность" + Chr(13)
    ОКНО = ОКНО + "в следующем окне <Свойства проекта>," + Chr(13)
    ОКНО = ОКНО + "изменив число в переменной Автор " + АВТОР + Chr(13)
    ОКНО = ОКНО + "на число " + Str(200 * (K_MIN - 1)) + Chr(13)
    ОКНО = ОКНО + "Закройте это окно нажатием на ОК." + Chr(13)
    KeyОТВЕТ = MsgBox(ОКНО, vbOKOnly) 'закрыть окно
    FileProperties 'вход в форму "Свойства проекта" для изменения значения
несвоевременности
End If
If K_MIN <= 1.05 Then 'автоматическое установление качества управления
    КА4ЕСТВО = 5 'качество управления отличное, выбор франшизы в 5%
Elseif K_MIN > 1.05 Or K_MIN <= 1.25 Then
    КА4ЕСТВО = 4 'качество управления хорошее (экспоненциальное распределение)
Elseif K_MIN > 1.25 Or K_MIN <= 1.5 Then
    КА4ЕСТВО = 3 'качество управления удовлетворительное (треугольное распределение)

```

```

Elseif K_MIN > 1.5 Then
    KA4ECTBO = 2 'качество управления неудовлетворительное (равномерное распределение)
End If

'РАСЧЕТ МАССИВА СЛУЧАЙНЫХ ГРАФИКОВ РОСТА ОБЪЕМОВ РАБОТ
For I = 1 To PA3MEP 'формирование статистического массива случайных ВАРИантов
    For J = 1 To N_PA6OT 'перебор простых задач для формирования случайного расписания
        L = DAHO(J, 1) 'расчет номера строки расположения J-ой простой задачи
        SelectRow Row:=L, RowRelative:=False 'переходим на строку L, содержащую J-ую простую задачу
        If KA4ECTBO = 2 Then 'если КАЧЕСТВО неудовлетворительное
            SetTaskField Field:="Длительность",
            Value:=ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskDuration1)
            'в столбец "Длительность" заносим случайную продолжительность из столбца "Длительность1"
        Elseif KA4ECTBO = 3 Then 'если КАЧЕСТВО удовлетворительное
            SetTaskField Field:="Длительность",
            Value:=ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskDuration2)
            'в столбец "Длительность" заносим случайную продолжительность из столбца "Длительность2"
        Elseif KA4ECTBO = 4 Then 'если КАЧЕСТВО хорошее
            SetTaskField Field:="Длительность",
            Value:=ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskDuration3)
            'в столбец "Длительность" заносим случайную продолжительность из столбца "Длительность3"
        Elseif KA4ECTBO = 5 Then 'если КАЧЕСТВО отличное
            SetTaskField Field:="Длительность",
            Value:=ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskBaselineDuration)
            'в столбец "Длительность" заносим продолжительность из столбца "Базовая Длительность"
        End If
    Next J
    CalculateAll 'осуществляется пересчет для получения ВАРИАНТА случайного календарного графика
    SelectRow Row:=0, RowRelative:=False 'переходим на 0-ю строку, определяем текущее уменьшение NPV и
    ВАРИАНТ(I, 0) = -Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskCost2)) 'заносим его в массив ВАРИАНТов
    ВАРИАНТ(I, 21) = 0 'начальное значение пени по Ф3№214 (далее оно будет суммироваться)
    SelectRow Row:=1, RowRelative:=False 'переходим на 1-ю строку и определяем текущую (случайную)
    DUR = Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskDuration)) 'продолжительность строительства
    For K = 1 To 19: ВАРИАНТ(I, K) = 0: Next K 'обнуление начальных объемов ВАРИАНТа I-ой реализации
    ВАРИАНТ(I, 20) = 1 'в 20-м столбце итог всегда равен 1, то есть 100%
    For J = 1 To N_PA6OT 'перебор всех простых текущих задач
        СТО = DAHO(J, 2) 'относительная стоимость J-ой простой работы
        L = DAHO(J, 1) 'расчет номера строки расположения J-ой простой задачи
        SelectRow Row:=L, RowRelative:=False 'переходим на строку L, содержащую J-ую простую задачу
        D_HA4 = DateValue(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskStart)) 'дата НАЧала простой задачи
        D_KOH = DateValue(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskFinish)) 'дата КОНца простой задачи
        HA4 = DateDiff("d", D_СТАРТ, D_HA4) / 7 / DUR 'относительное время от начала проекта до НАЧала

```

```

    КОН = DateDiff("d", D_СТАРТ, D_КОН) / 7 / DUR 'относительное время от начала проекта
до КОНца
    For K = 1 To 19 'перебор с интервалом времени 0.05
        If НА4 > (K * 0.05) Then 'значит работа еще не НАЧата и
            ВАРИАНТ(I, K) = ВАРИАНТ(I, K) 'СУМмарный объем работ не изменяется
        ElseIf КОН < (K * 0.05) Then 'значит работа уже заКОНчена и к СУМмарному объему
            ВАРИАНТ(I, K) = ВАРИАНТ(I, K) + СТО 'добавляется стоимость данной работы
        Else 'работа начата и не кончена значит к СУМмарному объему добавляем только часть
объема
            ВАРИАНТ(I, K) = ВАРИАНТ(I, K) + СТО * (K * 0.05 - НА4) / (КОН - НА4)
        End If
    Next K
    If ДАНО(J, 0) > 0 Then 'определяем наличие строки составной (суммарной) задачи
        SelectRow Row:=L - 1, RowRelative:=False 'поднимаемся на строку выше, содержащую эту
суммарную задачу и суммируем
        ВАРИАНТ(I, 21) = ВАРИАНТ(I, 21) - Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskCost3)) 'пени
комплекса по Ф3№214
    End If
Next J
Next I

```

```

'РАСЧЕТ МАКСИМАЛЬНОГО ГРАФИКА РОСТА ОБЪЕМОВ РАБОТ по МАССИВУ
ВАРИАНТов
MAX_N = 0: MAX_P = 0: MIN_N = 10000 'начальные значения МАКСимомов и МИНимумов
For K = 1 To 19
    ВАРИАНТ(0, K) = 0 'обнуление начальных сумм в нулевой строке массива ВАРИАНТ
    С4ЕТ(K) = 0 'счетчик ВАРИАНТОВ, значения которых больше базовых значений
Next K
For I = 1 To РАЗМЕР
    For K = 1 To 19 'перебор I-го ВАРИАНТа во всем диапазоне относительного времени
        If ВАРИАНТ(I, K) >= MINIMAX(1, K) Then 'учет равных и больших значений
            С4ЕТ(K) = С4ЕТ(K) + 1 'счетчик ВАРИАНТОВ, которые больше или равны базовым
            ВАРИАНТ(0, K) = ВАРИАНТ(0, K) + ВАРИАНТ(I, K) 'суммирование ВАРИАНТов
        End If
    Next K
    If ВАРИАНТ(I, 0) < MIN_N Then MIN_N = ВАРИАНТ(I, 0) 'ищем МИНимум уменьшения NPV
    If ВАРИАНТ(I, 0) > MAX_N Then MAX_N = ВАРИАНТ(I, 0) 'ищем МАКСимум уменьшения NPV
    If ВАРИАНТ(I, 21) > MAX_P Then MAX_P = ВАРИАНТ(I, 21) 'ищем МАКСимальную пеню
Next I
For K = 1 To 19 'округляем РЕЗУЛЬТАТ до 0.01 или до 1%
    If С4ЕТ(K) > 0 Then
        MINIMAX(2, K) = ВАРИАНТ(0, K) / С4ЕТ(K) 'делим на СЧИТтанное ранее число
        MINIMAX(2, K) = 2 * MINIMAX(2, K) - MINIMAX(1, K) 'предположение состоит в том, что
'считаем, что МАКСимальная граница в 2 раза шире определенной ранее средней
границы !!!
    Else
        MINIMAX(2, K) = MINIMAX(1, K)
    End If
Next K
For K = 0 To 20 'отображаем РЕЗультаты 2-х табличных графиков на диаграмме Ганта
    SelectRow Row:=K, RowRelative:=False
    X = Int(1000 * (MINIMAX(1, K) + 0.0005)) / 10 'с 1-м знаком после
    Y = Int(1000 * (MINIMAX(2, K) + 0.0005)) / 10 'десятичной точки
    'SetTaskField Field:="Число3", Value:=5 * K 'шкала относительного времени от 0 до 100%
    SetTaskField Field:="Число4", Value:=X 'шкала мин объема (округляем до 1 знака после
запятой и)

```

```

SetTaskField Field:="Число5", Value:=Y 'шкала макс объема (переводим в проценты
умножением на 100)
Next K
SelectRow Row:=15, RowRelative:=False
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=Str((MIN_N + MAX_N) / 2) + " мр." 'средняя потеря NPV
SelectRow Row:=17, RowRelative:=False
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=Str(MAX_P / 2) + " мр." 'средняя пеня по ФЗ №214
SelectRow Row:=23, RowRelative:=False
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=Str(MAX_N) + " мр." 'максимальная потеря NPV
SelectRow Row:=25, RowRelative:=False
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=Str(MAX_P) + " мр." 'максимальная пеня по ФЗ №214

```

'РАСЧЕТ ОПТИМИСТИЧЕСКОГО И ПЕССИМИСТИЧЕСКОГО ПРОГНОЗОВ И ОКОНЧАТЕЛЬНЫЙ ВЫВОД РЕЗУЛЬТАТОВ

```

X = Int(АСТ_ОТН) 'определение нижней границы в шкале от 0 до 20
Y = Int(АСТ_ОТН + 1) 'определение верхней границы в шкале от 0 до 20
V = 100 * (MINIMAX(2, X) + (АСТ_ОТН - X) * ((MINIMAX(2, Y) - MINIMAX(2, X)))) 'должно быть
выполнено по МАКСимуму
K_MAX = Int(100 * V / V_АСТ + 1) / 100 'расчет индекса МАКСимальной несвоевременности с
2-мя знаками после запятой
SelectRow Row:=7, RowRelative:=False
T_MIN = Int((TPL - T_АСТ / 7) * (K_MIN - 1) + 1) 'МИНимальный прогноз задержки в целых
неделях
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=Str(T_MIN) + " н" 'установка средней задержки
строительства
SelectRow Row:=9, RowRelative:=False
D_MIN = DateAdd("d", (T_MIN + TPL) * 7, D_СТАРТ) 'МИНимальная дата окончания
строительства
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=D_MIN 'установка МИНимальной даты прогноза
SelectRow Row:=11, RowRelative:=False
T_MID = Int((TPL - T_АСТ / 7) * ((K_MAX + K_MIN) / 2 - 1) + 1) 'Средний прогноз задержки в
целых неделях
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=Str(T_MID) + " н" 'установка средней задержки
строительства
SelectRow Row:=13, RowRelative:=False
D_MID = DateAdd("d", (T_MID + TPL) * 7, D_СТАРТ) 'Средняя дата окончания строительства
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=D_MID 'установка средней даты прогноза
SelectRow Row:=19, RowRelative:=False
T_MAX = Int((TPL - T_АСТ / 7) * (K_MAX - 1) + 1) 'МАКСимальная задержка в целых неделях
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=Str(T_MAX) + " н" 'установка МАКСимальной задержки
строительства
SelectRow Row:=21, RowRelative:=False
D_MAX = DateAdd("d", (T_MAX + TPL) * 7, D_СТАРТ) 'максимальная дата прогноза окончания
строительства
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=D_MAX 'установка максимальной даты прогноза
SelectRow Row:=27, RowRelative:=False
Z = Int((100 * T_АСТ / 7 / V_АСТ / TPL - 1) * (TPL - T_АСТ / 7) + 0.5)
SetTaskField Field:="Текст1", Value:=Str(Z) + " н" 'установка линейной задержки строительства
SelectRow Row:=0, RowRelative:=False

```

'ПЕРЕФОРМИРОВАНИЕ ЧАСТИЧНО ВЫПОЛНЕННОГО РАСПИСАНИЯ В НОВЫЙ ФАЙЛ newplan.mpp

```

ОКНО = "При появлении этого диалогового окна, Вы" + Chr(13)
ОКНО = ОКНО + "можете переформировать данный проект в" + Chr(13)
ОКНО = ОКНО + "соответствие с выполненными работами и" + Chr(13)
ОКНО = ОКНО + "записать его на рабочий стол." + Chr(13)
ОКНО = ОКНО + "Пропустить переформатирование?" + Chr(13)

```

```

ОКНО = ОКНО + "Для этого нажмите на кнопку <Да>," + Chr(13)
ОКНО = ОКНО + "В противном случае нажмите на кнопку <Нет>."
KeyOTBET = MsgBox(ОКНО, vbYesNo) 'выбор кнопки
If KeyOTBET <> 6 Then 'если нажата кнопка "Да"
    FileSave 'сохранение старого проекта на рабочем столе
    ProjectSummaryInfo Start:=D_ACT 'установка даты начала нового проекта равной средней
    дате мониторинга
    CalculateAll 'пересчет проекта на новую дату начала
    For J = 1 To N_PAБОТ 'перебор всех простых текущих задач
        L = DAHO(J, 1) 'расчет номера строки расположения J-ой простой задачи
        SelectRow Row:=L, RowRelative:=False 'переходим на строку L, содержащую J-ую простую
        задачу
        O6bEM = ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskNumber1) 'определяем объем выполнения
        в %
        If O6bEM = 100 Then 'работа выполнена, смещена в начало, время=0, последователей и
        предшественников нет
            SetTaskField Field:="Начало", Value:=D_ACT 'установка средней даты мониторинга
            SetTaskField Field:="Длительность", Value:=0 'установка длительности работы равной
            нулю
            SetTaskField Field:="Последователи", Value:="", TaskID:=L,
            ProjectName:="C:\Users\x\Desktop\forecast1.mpp" 'удаление последователей
            SetTaskField Field:="Предшественники", Value:="", TaskID:=L,
            ProjectName:="C:\Users\x\Desktop\forecast1.mpp" 'удаление предшественников
            Elseif O6bEM > 0 Then 'работа выполнена, смещена в начало, время=пересчету по
            ОБЪЕМУ, предшественников нет
                SetTaskField Field:="Начало", Value:=D_ACT 'установка средней даты мониторинга
                X = Val(ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskBaselineDuration)) 'определение базовой
                продолжительности
                SetTaskField Field:="Длительность", Value:=X * (100 - O6bEM) / 100 'установка оставшейся
                длительности
                SetTaskField Field:="Предшественники", Value:="", TaskID:=L,
                ProjectName:="C:\Users\x\Desktop\forecast1.mpp" 'удаление предшественников
            Else 'работа не начата, длительность принимается базовой, связи остаются (кроме
            удаленных)
                SetTaskField Field:="Длительность",
                Value:=ActiveCell.Task.GetField(FieldID:=pjTaskBaselineDuration) 'определяем
            End If
        End If
    Next J
    CalculateAll 'осуществляется пересчет новых дат и длительностей
    BaselineSave All:=True, Copy:=0, Into:=0 'перенос данных из текущего плана в базовый план
    ОКНО = "Если желаете сохранить новый план" + Chr(13)
    ОКНО = ОКНО + "на рабочем столе под именем" + Chr(13)
    ОКНО = ОКНО + "файла newplan.mpp, то для" + Chr(13)
    ОКНО = ОКНО + "этого нажмите на кнопку <Да>," + Chr(13)
    ОКНО = ОКНО + "при отказе нажмите на кнопку <No>."
    KeyOTBET = MsgBox(ОКНО, vbYesNo) 'выбор кнопки
    If KeyOTBET = 6 Then 'если нажата кнопка "Да"
        FileSaveAs Name:="C:\Users\x\Desktop\newplan.mpp", FormatID:="MSProject.MPP"
        'сохранение как newplan.mpp на рабочем столе
    End If
End If

COBCEM_КОНЕЦ:
A = 1
End Sub 'конец программы

```

Научное издание

Дадар Алдын-кыс Хунаевна, Болотин Сергей Алексеевич

**МЕТОДОЛОГИЯ РАСЧЕТА РАСПИСАНИЙ РАБОТ
ПРИ АКТУАЛИЗАЦИИ ИНФОРМАЦИОННОЙ НЕПОЛНОТЫ
СИСТЕМЫ ОРГАНИЗАЦИИ СТРОИТЕЛЬСТВА**

Монография

Утверждено к печати по решению Научно-технического совета
Тувинского государственного университета

Редактор Е.К. Сенди
Дизайн обложки К.К. Сарыглар

Сдано в набор: 08.09.2020. Подписано в печать: 28.12.2020.

Формат бумаги 60×84 ¹/₈. Бумага офсетная.

Физ. печ. л 17,5. Усл. печ. л. 16,2. Заказ № 1658. Тираж 500 экз.

667000, Республика Тыва, г. Кызыл, ул. Ленина, 36
Тувинский государственный университет
Издательство ТувГУ